

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-232433

(P2000-232433A)

(43) 公開日 平成12年8月22日 (2000.8.22)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームト\* (参考)

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E 5 K 0 0 2

14/02

S

H 0 4 B 10/14

J

10/06

10/04

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平11-30349

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 友藤 博朗

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100078330

弁理士 笹島 富二雄

Fターム (参考) 5K002 CA10 CA13 DA02 FA01

(22) 出願日

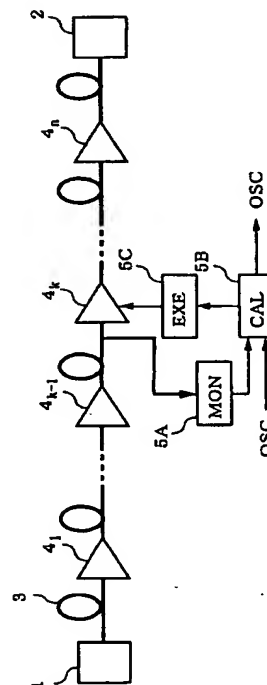
平成11年2月8日 (1999.2.8)

(54) 【発明の名称】 波長多重光通信システム及び光増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 ALC動作する光増幅装置の出力光に含まれる1波長あたりの信号光パワーの減少を防止して、WDM信号光の伝送特性を向上させたWDM光通信システムを提供する。

【解決手段】 本発明のWDM光通信システムは、送信端局1及び受信端局2の間を結ぶ光ファイバ伝送路3の途中に設けられた複数の光増幅装置4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>のそれぞれについて、入力光パワーを測定する入力光測定部5Aと、該入力光パワー等の情報を基にASE光パワーを求め、ALCの出力設定レベルをASE光パワーだけ増加させる出力補正値を算出する補正値算出部5Bと、その出力補正値に従って光増幅装置の出力設定レベルに対する補正を実施する補正実施部5Cを備えて構成される。かかる構成により、各光増幅装置の出力光に含まれる1波長あたりの信号光パワーが波長数に拘わらず一定に保たれるようになる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】波長多重信号光を一括して増幅可能な少なくとも 1 つの光増幅装置を有する波長多重光通信システムにおいて、

出力光が所定の出力設定レベルに制御された前記光増幅装置の前記出力光に含まれる 1 波長あたりの信号光パワーが、信号光の波長数に拘わらず一定に保たれるように、前記光増幅装置の動作を制御する出力信号光パワー制御手段を備えて構成されたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 2】請求項 1 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記出力信号光パワー制御手段が、

前記光増幅装置の入力光パワーを測定する入力光測定部と、

該入力光測定部で測定された入力光パワー、前記光増幅装置の前記入力光パワーに対応した雑音指数、前記光増幅装置の帯域幅及び信号光の波長数に基づいて、前記光増幅装置で発生する雑音光パワーを求め、前記光増幅装置の出力設定レベルを前記雑音光パワーだけ増加させるための出力補正值を算出する補正值算出部と、

該補正值算出部で算出された出力補正值に従って、前記光増幅装置の出力設定レベルに対する補正を実施する補正実施部と、

$$\Delta k = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{h \nu \cdot \Delta f}{m} \cdot 10^{\frac{NF_i - 10 \log \left( \frac{P_{T \text{ in }}(i)}{m} \right) + 10 \log (1 + \delta_{i-1})}{10}} \right\}$$

で与えられることを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 5】請求項 3 または 4 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記補正值算出部と前記各光増幅装置との間で行われる情報の伝達は、前記波長多重信号光に含まれる主信号光の波長とは異なる波長の光信号によって行われる構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 6】請求項 2 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記出力信号光パワー制御手段が、複数の光増幅装置ごとにそれぞれ設けられるとともに、

該各出力信号光パワー制御手段の補正值算出部が、前段の光増幅装置についての出力補正值、並びに自局の光増幅装置についての、前記入力光測定部で測定された入力光パワー、該入力光パワーに対応した雑音指数及び帯域幅、並びに信号光の波長数に基づいて、自局の光増幅装置についての前記出力補正值を算出し、該算出した出力

\*を備えたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 3】請求項 2 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記入力光測定部及び前記補正実施部が、複数の光増幅装置ごとにそれぞれ設けられ、

前記補正值算出部が、複数の光増幅装置に対して少なくとも 1 つ設けられ、各光増幅装置からそれぞれ伝達される入力光パワー、雑音指数及び帯域幅、並びに信号光の波長数に基づいて、各々の光増幅装置についての前記出力補正值を一括して算出し、該算出した各出力補正值に対応する光増幅装置の前記補正実施部に通知する構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 4】請求項 3 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記補正值算出部が、前記各々の光増幅装置についての出力補正值として、補正前の出力光パワーに対する補正量の比で表される補正比率  $\Delta$  を算出し、 $k$  段目の光増幅装置についての前記補正比率  $\Delta_k$  は、入力光パワー測定時に  $i$  段目の光増幅装置に対して実施されていた補正比率を  $\delta_i$ 、トータル入力光パワーを  $P_{T \text{ in }}(i)$ 、該トータル入力光パワーに対応した雑音指数を  $NF_i$ 、帯域幅を  $\Delta f$ 、信号光の波長数を  $m$ 、光子エネルギーを  $h \nu$  としたとき、

\* 【数 1】

補正值を、前記補正実施部に通知すると同時に、後段の光増幅装置の補正值算出部に伝達する構成として、光送信局側の光増幅装置から光受信局側の光増幅装置に向けて出力補正值が順次設定されることを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 7】請求項 6 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記補正值算出部が、自局の光増幅装置についての出力補正值として、補正前の出力光パワーに対する補正量の比で表される補正比率  $\Delta$  を算出し、 $k$  段目の光増幅装置についての前記補正比率  $\Delta_k$  は、入力光パワー測定時に前段の光増幅装置に対して実施されていた補正比率を  $\delta_{k-1}$ 、トータル入力光パワーを  $P_{T \text{ in }}(k)$ 、該トータル入力光パワーに対応した雑音指数を  $NF_k$ 、帯域幅を  $\Delta f$ 、信号光の波長数を  $m$ 、光子エネルギーを  $h \nu$  としたとき、

【数 2】

$$\Delta_k = \Delta_{k-1} + \frac{h\nu \cdot \Delta f}{m} \cdot 10^{\frac{NF_{k-1} \cdot 10 \log \left( \frac{P_{Tin}(k)}{m} \right) + 10 \log (1 + \delta_{k-1})}{10}}$$

で与えられることを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 8】請求項 6 に記載の波長多重光通信システムであって、前記補正值算出部が、自局の光増幅装置についての出力補正值として、補正前の出力光パワーに対する補正量の比である補正比率  $\Delta$  に信号光の波長数を乗算した値  $d$  を \*

$$d_k = d_{k-1} + h\nu \cdot \Delta f \cdot 10^{\frac{NF_{k-1} \cdot 10 \log \left( \frac{P_{Tin}(k)}{m} \right) + 10 \log (1 + \delta_{k-1})}{10}}$$

で与えられ、かつ、後段の光増幅装置の補正值算出部には、1 つの波長数について算出した値  $d$  のみを自局の出力補正值として伝達することを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 9】請求項 6 ～ 8 のいずれか 1 つに記載の波長多重光通信システムであって、複数の光増幅装置にそれぞれ設けられた前記各補正值算出部の間で行われる情報の伝達は、前記波長多重信号光に含まれる主信号光の波長とは異なる波長の光信号によって行われる構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 10】請求項 2 ～ 9 のいずれか 1 つに記載の波長多重光通信システムであって、前記補正值算出部で用いられる、前記光増幅装置の前記入力光パワーに対応した雑音指数が、一次近似式に従って与えられることを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 11】請求項 2 ～ 10 のいずれか 1 つに記載の波長多重光通信システムであって、前記補正值算出部が、一定時間ごとに前記出力補正值を再計算して前記補正実施部に伝える構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 12】請求項 2 ～ 10 のいずれか 1 つに記載の波長多重光通信システムであって、前記補正值算出部は、前記入力光測定部で測定された入力光パワーが、その直前に出力補正值を算出したときの値から一定値以上ずれた場合に、前記出力補正值を再計算して前記補正実施部に伝える構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 13】請求項 2 ～ 12 のいずれか 1 つに記載の波長多重光通信システムであって、

\*算出し、 $k$  段目の光増幅装置についての前記値  $d_k$  は、入力光パワー測定時に前段の光増幅装置に対して実施されていた補正比率を  $\delta_{k-1}$ 、トータル入力光パワーを  $P_{Tin}(k)$ 、該トータル入力光パワーに対応した雑音指数を  $NF_k$ 、帯域幅を  $\Delta f$ 、信号光の波長数を  $m$ 、光子エネルギーを  $h\nu$  としたとき、

【数 3】

$$NF_{k-1} \cdot 10 \log \left( \frac{P_{Tin}(k)}{m} \right) + 10 \log (1 + \delta_{k-1})$$

前記補正值算出部が、設定可能な最大波長数までの各波長数に対応した前記出力補正值をそれぞれ算出して記憶し、波長数に変更が生じた時に、変更後の波長数に該当する前記出力補正值を読み出して前記補正実施部に伝える構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 14】請求項 1 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記出力信号光パワー制御手段が、

システムに想定される信号光の波長数と光増幅装置の光送信局側からの段数との組合せに対応させて予め算出した出力補正值を記憶させる補正值記憶部と、

前記光増幅装置に対して、現在の信号光の波長数と自局の光送信局側からの段数とに関する情報を通知する設定通知部と、

該設定通知部からの情報に該当する出力補正值を前記補正值記憶部から読み出し、該出力補正值に従って前記光増幅装置の出力設定レベルに対する補正を実施する補正実施部と、

を備えたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 15】請求項 14 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記補正值記憶部が、前記出力補正值として、補正前の出力光パワーに対する補正量の比で表される補正比率を記憶し、 $k$  段目の光増幅装置についての前記補正比率  $\Delta_k$  は、予め設定した  $i$  段目に対する 1 波長あたりの平均入力信号光パワーを  $P_{insig}(i)$ 、該平均入力信号光パワーに対応した雑音指数を  $NF_i$ 、帯域幅を  $\Delta f$ 、信号光の波長数を  $m$ 、光子エネルギーを  $h\nu$  としたとき、

【数 4】

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{h \nu \cdot \Delta f}{m} \cdot 10^{\frac{NF_i - 1}{10} \log \left( \frac{P_{in sig}(t)}{m} \right)} \right\}$$

で与えられることを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 16】請求項 14 または 15 に記載の波長多重光通信システムであって、前記設定通知部と前記光増幅装置との間で行われる情報の伝達は、前記波長多重信号光に含まれる主信号光の波長とは異なる波長の光信号によって行われる構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 17】請求項 1 に記載の波長多重光通信システムであって、前記出力信号光パワー制御手段が、前記光増幅装置から出力される 1 波長あたりの信号光パワー及び前記光増幅装置で発生する雑音光パワーの少なくとも一方を測定可能な光測定部と、該光測定部の測定結果に基づいて、前記光増幅装置の出力設定レベルの補正を実施する補正実施部と、を備えたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 18】請求項 17 に記載の波長多重光通信システムであって、前記光測定部が、信号光の波長帯を除いた前記光増幅装置の帯域内に透過帯域を有していて前記光増幅装置から得た分岐光に含まれる雑音光の一部を抽出する光フィルタと、該光フィルタの透過光を基に、前記光増幅装置で発生する雑音光パワーを検出する雑音光検出器とを備え、前記補正実施部が、前記光増幅装置の出力設定レベルを前記雑音光検出器で検出された雑音光パワーだけ増加させる補正を実施する構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 19】請求項 17 に記載の波長多重光通信システムであって、前記光測定部が、前記光増幅装置の出力光のスペクトルを測定する光スペクトル測定器と、該光スペクトル測定器の測定結果を基に、前記出力光に含まれる 1 波長あたりの平均信号光パワーを検出する信号光検出器とを備え、前記補正実施部が、前記信号光検出器で検出された信号光パワーが一定値となるように、前記光増幅装置の出力設定レベルを補正する構成としたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 20】波長多重信号光を一括して増幅可能であり、出力光が所定の出力設定レベルに制御された光増幅装置において、前記出力光に含まれる 1 波長あたりの信号光パワーが、

信号光の波長数に拘わらず一定に保たれるように、光増幅動作を制御する出力信号光パワー制御手段を備えて構成されたことを特徴とする光増幅装置。

#### 10 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を光増幅装置を用いて増幅しながら伝送する波長多重光通信システム及び光増幅装置に関し、特に、光増幅装置から出力される 1 波長あたりの信号光パワーが一定に保たれるようにした波長多重光通信システム及び光増幅装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】近年、インターネットや画像伝送等の普及に伴って光通信システムの大容量化が望まれている。これに対応するために波長多重 (WDM) 光通信システムが実用化され、さらに、波長多重数の増大等の開発が進められている。

【0003】図 21 は、WDM 信号光を光増幅装置で一括増幅して多中継伝送を行う WDM 光通信システムの一般的な構成を示すブロック図である。図 21 のシステムは、送信側の端局 1 と、受信側の端局 2 と、それら送受信端局の間を結ぶ光ファイバ伝送路 3 と、該光ファイバ伝送路 3 の途中に設けられる複数の (図では 2 つ) の光増幅装置 4 (光中継局) とから構成される。

【0004】送信側の端局 1 は、波長の異なる複数の光信号をそれぞれ出力する複数の光送信器 (E/O) 1 A と、複数の光信号を波長多重して WDM 信号光とし光ファイバ伝送路 3 に出力する合波器 1 B と、WDM 信号光を所要のレベルに増幅するポストアンプ 1 C とを有する。受信側の端局 2 は、光ファイバ伝送路 3 により伝送された WDM 信号光を所要のレベルに増幅するプリアンプ 2 A と、プリアンプ 2 A からの出力光を波長に応じて複数の光信号に分ける分波器 2 B と、複数の光信号をそれぞれ受信処理する複数の光受信器 (O/E) 2 C とを有する。

【0005】各光増幅装置 4 では、光ファイバ伝送路 3 により伝送された WDM 信号光が一括して増幅される。また、各光増幅装置 4 では、出力光のトータルパワーがモニタされ、該モニタ値が一定となるように動作を制御する自動レベル制御 (ALC) が行われる。このように光増幅装置 4 の出力制御方式を ALC とすることで、中継利得が各スパンごとに独立となるため、システム設計がしやすいという利点がある。

【0006】上記のように複数の光増幅装置 4 を用いて

WDM光通信システムを構築する場合、一般に、各光増幅装置4の利得の波長依存性(利得偏差)によってWDM信号光の伝送距離が制限される。この利得の波長依存性を抑圧するのに有効な光増幅装置として、本出願人は、例えばOAA' 98, WA2, pp173-176や、OAA' 98, MD1, pp54-57等において開示したような構成を提案している。

【0007】この利得の波長依存性を抑圧するのに有効な光増幅装置は、前段光増幅部および後段光増幅部を有する2段構成とし、中段に変光減衰器を挿入した基本構成を採用する。かかる光増幅装置では、前段および後段の各光増幅部を利得一定制御(AGC)で動作させることで利得偏差を抑圧すると同時に、後段の光増幅部の出力光レベルに応じて中段の変光減衰器の光減衰量を制御することで出力光のALCを実現している。また、上記光増幅装置におけるALCの出力設定レベルは、使用波長数に変化したときにでも、1波長あたりの出力光パワーが一定値となるように制御される。具体的には、使用波長数を $m$ とし、1波長あたりの出力光パワーを $P_o$ としたとき、ALCの出力設定レベルが $m \times P_o$ に設定される。なお、使用波長数 $m$ については、例えば監視系から送られる監視制御信号等によって得られる。この\*

$$P_{\text{out}} = m \cdot P_o = P_{\text{in}} \cdot G + 2 \cdot n_{\text{sp}} \cdot h \nu \cdot \Delta f \cdot (G - 1) \quad \dots (1)$$

ここで、 $P_{\text{in}}$ は光増幅装置へのトータル入力光パワー[W]、 $G$ は光増幅装置の利得、 $n_{\text{sp}}$ は光増幅装置の自然放出係数、 $h \nu$ は光子エネルギー[J]、 $\Delta f$ は光増幅装置の帯域幅[Hz]である。

【0011】(1)式において、右辺の第1項は信号光成分を示し(ただし、入力光が前段の光増幅装置等におけるASE光を含む場合には、そのASE光の増幅成分を含む)、第2項は当該光増幅装置で発生するASE光成分を示している。ALC動作する光増幅装置では、ト※

$$P_o = P_{\text{in}} \cdot G / m + 2 \cdot n_{\text{sp}} \cdot h \nu \cdot \Delta f \cdot (G - 1) / m \\ = P_{\text{in}} \cdot G / m + \Delta P_o \quad \dots (2)$$

ただし、 $\Delta P_o = 2 \cdot n_{\text{sp}} \cdot h \nu \cdot \Delta f \cdot (G - 1) / m$  [W]とする。

【0013】このように、1波長あたりの信号光パワーは、所定の出力光レベル $P_o$ より $\Delta P_o$ 減少することになる。したがって、前述したようなWDM光通信システムでは、WDM信号光が光増幅装置で中継増幅されるごとに、次段の光増幅装置への入力信号光パワーが減少し★

$$1 / \text{OSNR} = 1 / \text{OSNR}_1 + 1 / \text{OSNR}_2 + \dots$$

$$\text{OSNR}_i = P_{\text{insig}(i)} / (2 \cdot n_{\text{sp}(i)} \cdot h \nu \cdot \Delta f)$$

ここで、OSNRは $n$ 番目の光増幅装置を通過後の光SN比、OSNR<sub>i</sub>は $i$ 番目の光増幅装置を単独で使したときの光SN比、 $P_{\text{insig}(i)}$ は $i$ 番目の光増幅装置への入力信号光パワー、 $n_{\text{sp}(i)}$ は $i$ 番目の光増幅装置の自然放出係数である。

【0015】また、1波長あたりの信号光パワーの減少

\*ように出力設定レベルの制御を行うことで、WDM光通信システムは、使用波長が1波から最大波長数まで変化してもシステムとして動作可能なものとなる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、光増幅装置から光ファイバ伝送路に送出できる1波長あたりの出力光パワーには上限値が存在する。この上限値は、光ファイバ伝送路の非線形効果(自己位相変調(SPM)、相互位相変調(XPM)など)に起因して定まるものである。従来のWDM光通信システムでは、光増幅装置の1波長あたりの出力光パワー $P_o$ が、この上限値に近い値となるように設計されてきた。

【0009】ここで、光増幅装置から出力される光について詳しく説明する。一般的な光増幅装置では、入力された信号光の増幅に伴って自然放出光(ASE光)が発生し、該ASE光が信号光に加算されて出力される。1波長あたりの出力光パワーが所定値 $P_o$  [W]となるように光増幅装置がALC動作している場合、光増幅装置から出力されるトータル出力光パワー $P_{\text{out}}$  [W]は、次の(1)式で与えられる。

【0010】

※トータル出力光パワー $P_{\text{out}}$ が一定に制御されるため、1波長あたりの出力光パワー $P_o$ を信号光成分およびASE光成分に分けて考えると、前述の上限値に応じた一定のレベルに制御すべき信号光成分に対して、ASE光成分(上記(1)式の第2項)が誤差成分となる。すなわち、1波長あたりの出力光パワー $P_o$ は、(1)式より次の(2)式で表される。

【0012】

★て、受信側端局における光SN比が劣化してしまうという問題がある。この光SN比は信号光と雑音光(ASE光)との比を示すものであって、一般に、光受信器で所要の符号誤り率を達成するにはある値以上の光SN比が必要となる。次の(3)式は、 $n$ 段の光増幅装置で中継増幅を行ったときの光SN比を与えるものである。

【0014】

$$+ 1 / \text{OSNR}_n \quad \dots (3)$$

量 $\Delta P_o$ は、上記(2)式からも判るように、波長数 $m$ が少ないほど多く、伝送特性に与える影響も大きい。一例を挙げると、5段中継の場合において、32波使用時は信号光パワーが0.5dB減少するが、1波使用時には12.3dBも減少するというデータが得られている。一般に、WDM光通信システムに用いられる光増幅装置は広帯域特性であるため、1波で使用するとそのA

SE光による信号光パワーの減少量は大きなものとなる。

【0016】このような使用波長数が少ないときの信号光パワーの減少に対処するためには、例えば、少数波長動作時の光SN比の劣化をあらかじめ見込んで、システム設計を行う方法が考えられる。しかしながら、この場合にはシステムゲインが減少して伝送可能距離が減少してしまうという問題が生じる。

【0017】本発明は上記の点に着目してなされたもので、ALC動作する光増幅装置を用いてWDM信号光を中継伝送するときにおける1波長あたりの信号光パワーの減少を防止して伝送特性の向上を図ったWDM光通信システム及び光増幅装置を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明のWDM光通信システムは、波長多重信号光を一括して増幅可能な少なくとも1つの光増幅装置を有するWDM光通信システムにおいて、出力光が所定の出力設定レベルに制御された光増幅装置の前記出力光に含まれる1波長あたりの信号光パワーが、信号光の波長数に拘わらず一定に保たれるように、前記光増幅装置の動作を制御する出力信号光パワー制御手段を備えて構成されるものである。

【0019】かかる構成のWDM光通信システムでは、ALC動作する光増幅装置の出力光に含まれる1波長あたりの信号光パワーが、出力信号光パワー制御手段によって信号光の波長数に拘わらず一定に保たれることにより、WDM信号光を光増幅装置を介して増幅中継しても各波長の信号光パワーが減少するようなことがなくなるため、優れた伝送特性が得られるようになる。

【0020】上記WDM光通信システムの第1の態様としては、出力信号光パワー制御手段が、光増幅装置の入力光パワーを測定する入力光測定部と、該入力光測定部で測定された入力光パワー、その入力光パワーに対応した光増幅装置の雑音指数、光増幅装置の帯域幅及び信号光の波長数に基づいて、当該光増幅装置で発生する雑音光パワーを求め、その光増幅装置の出力設定レベルを前記雑音光パワーだけ増加させるための出力補正値を算出する補正値算出部と、該補正値算出部で算出された出力補正値に従って、光増幅装置の出力設定レベルに対する補正を実施する補正実施部と、を備えるようにしてもよい。

【0021】かかる構成では、入力光測定部で得られた光増幅装置への入力光パワー、光増幅装置の諸特性及び信号光の波長数を基に、補正値算出部において、光増幅装置で発生する雑音光パワーが計算により求められ、光増幅装置の出力設定レベルを雑音光パワーだけ増加させる出力補正値が算出される。そして、計算により得られた出力補正値に従って、補正実施部が出力設定レベルの補正を実施することで、光増幅装置の出力光に含まれる

1波長あたりの信号光パワーが波長数に拘わらず一定に保たれるようになる。

【0022】上記第1の態様の具体的な構成としては、入力光測定部及び補正実施部が、複数の光増幅装置ごとにそれぞれ設けられ、補正値算出部が、複数の光増幅装置に対して少なくとも1つ設けられ、各光増幅装置からそれぞれ伝達される入力光パワー、雑音指数及び帯域幅、並びに信号光の波長数に基づいて、各々の光増幅装置についての前記出力補正値を一括して算出し、該算出した各出力補正値に対応する光増幅装置の補正実施部に通知するようにしてもよい。

【0023】かかる構成では、複数の光増幅装置についての出力補正値が、中央局等の補正値算出部で一括して算出されるようになる。また、上記第1の態様の他の具体的な構成としては、出力信号光パワー制御手段が、複数の光増幅装置ごとにそれぞれ設けられるとともに、該各出力信号光パワー制御手段の補正値算出部が、前段の光増幅装置についての出力補正値、並びに自局の光増幅装置についての、入力光測定部で測定された入力光パワー、該入力光パワーに対応した雑音指数及び帯域幅、並びに信号光の波長数に基づいて、自局の光増幅装置についての出力補正値を算出し、該算出した出力補正値を補正実施部に通知すると同時に、後段の光増幅装置の補正値算出部に伝達する構成として、光送信局側の光増幅装置から光受信局側の光増幅装置に向けて出力補正値が順次設定されるようにしてもよい。かかる構成では、複数の光増幅装置について出力補正値が、光送信局側の光増幅装置から順に、各々の補正値算出部において算出されるようになる。

【0024】さらに、上記第1の態様を変形した具体的な構成として、出力信号光パワー制御手段が、システムに想定される信号光の波長数と光増幅装置の光送信局側からの段数との組合せに対応させて予め算出した出力補正値を記憶させる補正値記憶部と、光増幅装置に対して、現在の信号光の波長数と自局の光送信局側からの段数とに関する情報を通知する設定通知部と、該設定通知部からの情報に該当する出力補正値を補正値記憶部から読み出し、該出力補正値に従って光増幅装置の出力設定レベルに対する補正を実施する補正実施部と、を備えるようにしてもよい。

【0025】かかる構成では、光増幅装置の出力補正値が、システムに想定される信号光の波長数と光増幅装置の光送信局側からの段数との組合せに対応させて予め算出され、例えば、2次元の補正値テーブルとして補正値記憶部に記憶される。そして、現在の信号光の波長数と自局の光送信局側からの段数とに関する情報が設定通知部から通知され、その情報に該当する出力補正値が補正実施部によって補正値記憶部から読み出されて、出力補正が実施されるようになる。これにより出力補正値の算出処理の簡略化が図られる。

【0026】また、前述したWDM光通信システムの第2の態様としては、出力信号光パワー制御手段が、光増幅装置から出力される1波長あたりの信号光パワー及び光増幅装置で発生する雑音光パワーの少なくとも一方を測定可能な光測定部と、該光測定部の測定結果に基づいて、前記光増幅装置の出力設定レベルの補正を実施する補正実施部と、を備えるようにしてもよい。

【0027】かかる構成では、光増幅装置から出力される1波長あたりの信号光パワーまたは光増幅装置で発生する雑音光パワーが、光測定部によって実際に測定され、その測定結果を基に光増幅装置の出力設定レベルが補正されて、光増幅装置の出力光に含まれる1波長あたりの信号光パワーが波長数に拘わらず一定に保たれるようになる。

【0028】上記第2の態様の具体的な構成としては、光測定部が光増幅装置で発生する雑音光パワーを検出し、補正実施部が光増幅装置の出力設定レベルを検出した雑音光パワーだけ増加させる補正を実施するようにしてもよい。または、光測定部が光増幅装置の出力光のスペクトルを測定して出力光に含まれる1波長あたりの平均信号光パワーを検出し、該信号光パワーが一定値となるように、補正実施部が光増幅装置の出力設定レベルを補正するようにしてもよい。

【0029】また、本発明の光増幅装置は、波長多重信号光を一括して増幅可能であり、出力光が所定の出力設定レベルに制御された光増幅装置において、前記出力光に含まれる1波長あたりの信号光パワーが、信号光の波長数に拘わらず一定に保たれるように、光増幅動作を制御する出力信号光パワー制御手段を備えて構成されるものである。

【0030】かかる構成の光増幅装置では、A L C動作下の出力光に含まれる1波長あたりの信号光パワーが、出力信号光パワー制御手段によって信号光の波長数に拘わらず一定に保たれるようになる。このような光増幅装置をWDM光通信システムに適用すれば、WDM信号光を増幅中継しても各波長の信号光パワーが減少するようになることがなくなるため、優れた伝送特性が得られるようになる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、全図を通して実質的に同一\*

\*の部分には同一の符号が付してある。

【0032】図1は、本発明に係るWDM光通信システムの第1の基本構成を示すブロック図である。図1において、本WDM光通信システムは、上述の図21に示した従来のシステムと同様に、送信側及び受信側の各端局1、2と、各端局の間を結ぶ光ファイバ伝送路3と、該光ファイバ伝送路3の途中に設けられた複数の光増幅装置4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>（光中継局）とを有する。本システムの特徴は、各光増幅装置4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>において、A S E光成分に対応し出力光の設定レベルを増加させる出力補正が計算に基づいて行われる点にある。なお、図1では、光増幅装置4<sub>k</sub>についてのみ出力補正の概容が示してあるが、他の光増幅装置についても光増幅装置4<sub>k</sub>と同様に出力補正が行われる。

【0033】光増幅装置4<sub>k</sub>について出力補正を実現するための基本構成は、入力光測定部（MON）5A、補正值算出部（CAL）5B及び補正実施部（EXE）5Cを含んでなる。入力光測定部5Aは、光増幅装置4<sub>k</sub>に入力される入力光のトータルパワーを測定して、その結果を補正值算出部5Bに伝える。補正值算出部5Bは、光増幅装置4<sub>k-1</sub>（前段の中継局）における出力補正值、並びに、光増幅装置4<sub>k</sub>における入力光パワー、雑音指数、帯域幅及び使用波長数を用いて後述する出力補正值を算出する。補正值算出部5Bに入力される前段の出力補正值は、例えば、監視系から送られる監視制御（OSC）信号などによって提供される。また、自局の雑音指数及び帯域幅は、図示しないがメモリ等あらかじめ設定されているものとし、使用波長数は、上記監視制御信号等によって提供されるか、あるいは自局でモニタするようにしてもよい。算出された出力補正值は、補正実施部5Cに送られて光増幅装置4<sub>k</sub>についての出力設定レベルの補正が実施されるとともに、後段の光増幅装置に監視制御信号を介して伝達される。

【0034】ここで、各光増幅装置4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>に対する出力補正值の算出方法について詳しく説明する。まず、初段の光増幅装置4<sub>1</sub>での出力補正值について考えると、補正前のトータル出力光パワー（信号光+A S E光）P<sub>Tout(1)</sub> [W] 及び補正後のトータル出力光パワー（信号光+A S E光）P<sub>Tout(1)'</sub> [W] は、次の（4）式及び（5）式で与えられる。

【0035】

$$P_{Tout(1)} = m \cdot P_o \\ = m \cdot P_{insig(1)} \cdot G_1 + 2 \cdot h \nu \cdot n_{sp(1)} \cdot \Delta f \cdot (G_1 - 1) \cdots \cdots (4)$$

$$P_{Tout(1)'} = P_{Tout(1)} + \Delta P_{out(1)} \\ = m \cdot P_{insig(1)} \cdot G_1' + 2 \cdot h \nu \cdot n_{sp(1)} \cdot \Delta f \cdot (G_1' - 1) \cdots \cdots (5)$$

ここで、P<sub>insig(1)</sub>は1段目の光増幅装置の入力信号光パワー [W]、G<sub>1</sub>は1段目の光増幅装置の出力補正前の利得、G<sub>1</sub>'は1段目の光増幅装置の出力補正後の利得、n<sub>sp(1)</sub>は1段目の光増幅装置の自然放出係数、hνは光子エネルギー [J]、Δfは光増幅装置の帯域幅

[Hz]である。また、ΔP<sub>out(1)</sub>は1段目の光増幅装置における出力補正值とする。

【0036】A L C動作下において、補正後の1波長あたりの出力信号光パワーが所定値P<sub>o</sub>になるように、すなわち、P<sub>Tout(1)} = m · P<sub>o</sub> = m · P<sub>insig(1)</sub> · G<sub>1</sub>'に</sub>



なるように、出力補正前の出力値に補正值 $\Delta P_{out}(1)$ を \*次の(6)式で表すことができる。  
 足すのであるから、(5)式より、補正值 $\Delta P_{out}(1)$ は\* 【0037】

$$\Delta P_{out}(1) = 2 \cdot h \cdot \nu \cdot n_{sp}(1) \cdot \Delta f \cdot (G_1' - 1) \quad \dots (6)$$

補正前のトータル出力光パワー $P_{Tout}(1)$ に対する補正 ※【0038】

値 $\Delta P_{out}(1)$ の比(以下、補正比率とする) $\Delta_1$ を求め 【数5】

ると、次の数5に示す(7)式となる。

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{\Delta P_{out}(1)}{P_{Tout}(1)} = \frac{\Delta P_{out}(1)}{m \cdot P_{insig}(1) \cdot G_1'} \\ &= \frac{2 \cdot h \cdot \nu \cdot n_{sp}(1) \cdot \Delta f \cdot (G_1' - 1)}{m \cdot P_{insig}(1) \cdot G_1'} \\ &= \frac{2 \cdot h \cdot \nu \cdot n_{sp}(1) \cdot \Delta f}{m \cdot P_{insig}(1)} \quad (\text{ただし } G_1' \gg 1 \text{ とする}) \dots (7) \end{aligned}$$

【0039】次に、2段目以降の光増幅装置 $4_2 \sim 4_n$ における出力補正值を考える。2段目の光増幅装置では、たとえ自局がASE光を発生しなくても、前段の光増幅装置の補正值分だけ、出力レベルを増加させる必要がある。現実には、2段目の光増幅装置でもASE光が発生★

★し、それに対応した補正值分も加わることになる。したがって、2段目の光増幅装置 $4_2$ について補正比率 $\Delta_2$ を求めると、次の数6に示す(8)式となる。

【0040】

【数6】

$$\Delta_2 = \frac{\Delta P_{out}(2)}{P_{Tout}(2)} = \Delta_1 + \frac{2 \cdot h \cdot \nu \cdot n_{sp}(2) \cdot \Delta f}{m \cdot P_{insig}(2)} \quad \dots (8)$$

【0041】さらに、上記の場合と同様にして、 $k$ 段目の光増幅装置 $4_k$ について補正比率 $\Delta_k$ を求めると、次の数7に示す(9)式となる。

【0042】

【数7】

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \Delta_{k-1} + \frac{2 \cdot h \cdot \nu \cdot n_{sp}(k) \cdot \Delta f}{m \cdot P_{insig}(k)} \\ &= \sum_{i=1}^k \frac{2 \cdot h \cdot \nu \cdot n_{sp}(i) \cdot \Delta f}{m \cdot P_{insig}(i)} \quad \dots (9) \end{aligned}$$

20 ☆【0043】ここで、光増幅装置 $4_k$ の自然放出係数 $n_{sp}(k)$ 及び入力信号光パワー $P_{insig}(k)$ は、一般に、次の数8に示す(10)式及び(11)式で与えられることが知られている。

【0044】

【数8】

☆

$$n_{sp}(k) = \frac{1}{2} \times 10^{\frac{NF_k}{10}} \quad \dots (10)$$

$$\begin{aligned} 10 \log(P_{insig}(k)) \\ = 10 \log\left(\frac{P_{Tin}(k)}{m}\right) - 10 \log(1 + \delta_{k-1}) \quad \dots (11) \end{aligned}$$

【0045】ただし、 $NF_k$ は $k$ 段目の光増幅装置の雑音指数 $NF$  [dB]、 $P_{Tin}(k)$ は $k$ 段目の光増幅装置のトータル入力光パワーである。また、 $\delta_{k-1}$ は入力光パワーを測定した時の前段光増幅装置 $4_{k-1}$ の出力補正值(実施されている値)を示す。

【0046】なお、上記出力補正值 $\delta_{k-1}$ は、前段の光増幅装置の出力補正を実施した後に、自局の出力補正值を算出する場合には、 $\delta_{k-1} = \Delta_{k-1}$ となる。一方、前段の出力補正を実施する前に、各々の光増幅装置について◆

◆の出力補正值を算出し、すべての光増幅装置での出力補正值を算出した後に、各光増幅装置の出力レベルを設定する場合には、 $\delta_{k-1} = 0$ となる。この詳細については後述する。

40 【0047】(10)(11)式を用いて(9)式を変形すると、光増幅装置 $4_k$ における補正比率 $\Delta_k$ は、次の数9に示す(12)式となる。

【0048】

【数9】

$$\Delta_k = \Delta_{k-1} + \frac{h \cdot \nu \cdot \Delta f}{m} \cdot 10^{\frac{NF_k - 10 \log\left(\frac{P_{Tin}(k)}{m}\right) + 10 \log(1 + \delta_{k-1})}{10}} \quad \dots (12)$$

【0049】さらに、上記(13)式について、光増幅装置の実際の使用状態を想定した1つの具体例を以下に

示しておく。伝送されるWDM信号光の波長帯として、例えば $1.55 \mu m$ を想定した場合には、光子エネルギー



— $h\nu$ は、プランク定数 $h=6.63\times 10^{-34}$  [J s]を用いて、 $h\nu=1.28\times 10^{-19}$  [J]となる。また、光増幅装置への入力光パワーは通常dBm単位でモニタされることが多いことから、トータル入力光パワー $P_{\text{Tin}}(k)$ をW単位からdBm単位に変換すると次の関係が成立する。

$$\begin{aligned} \text{【0050】 } P_{\text{Tin}}(k)_{\text{dBm}} &= 10 \log P_{\text{Tin}}(k) + 30 \quad * \\ \Delta f &= \frac{c}{\lambda^2} \Delta \lambda' = 1.25 \times 10^2 \Delta \lambda' = 1.25 \times 10^1 \Delta \lambda \end{aligned}$$

【0052】ここで、 $c$ は光速[m/s]、 $\lambda$ は使用波長[m]、 $\Delta \lambda'$ はm単位で表した光増幅装置の帯域幅、 $\Delta \lambda$ はnm単位で表した光増幅装置の帯域幅である。これらの関係を用いて(12)式を整理すると、光※

$$\begin{aligned} \Delta k &= \Delta k - 1 \\ &+ 10 \frac{N F k - P_{\text{Tin}}(k)_{\text{dBm}} + 10 \log (m) + 10 \log (\delta k - 1 + 1) - 47.9}{10} \times \frac{\Delta f}{m} \\ &\dots (13) \end{aligned}$$

【0054】なお、光増幅装置 $4k$ におけるALCの出力設定レベルをdBm単位で与えている場合には、出力設定レベルを $10 \log (1 + \Delta k)$ 増加させることによって、出力補正を実施できる。また、光増幅装置 $4k$ についての入力光パワー、雑音指数または帯域幅がほぼ決まっている場合には、それぞれに対応する値を固定値として、(12)式あるいは(13)式に与えて補正比率を計算してもよい。

【0055】次に、各光増幅装置 $41 \sim 4n$ での出力補正の実施方法について説明する。WDM光通信システムにおいて複数の光増幅装置の出力補正を実施する方法は、基本的に、システム立ち上げ時の方法と、WDM信号光を中継伝送しているインサースビス状態で、使用波長数の変化に応じて補正値を再計算しそれを反映させる場合の方法と、に分けて考えることができる。また、それぞれの場合について、少なくとも2通りの実施パターンが考えられる。すなわち、各光増幅装置の出力補正値を計算した後に、すべての光増幅装置について一斉に出力補正を実施するパターン（以下、一斉出力補正実施パターンとする）と、出力補正値の計算及びその実施を上流（送信側）から下流（受信側）の光増幅装置に向けて逐次実行していくパターン（以下、逐次出力補正実施パターンとする）と、である。ここでは、各々の実施パターンにおける基本動作について説明する。

【0056】システム立ち上げ時の一斉出力補正実施パターンにおいては、まず、出力補正を実施しないで各光増幅装置 $41 \sim 4n$ を動作させておく。その状態で上流の光増幅装置から順に出力補正値の計算のみを実行し、計算された各補正値を記憶しておく。そして、すべての光増幅装置の補正値が計算し終わったら、各々の補正値に従って各光増幅装置の出力設定レベルを一斉に補正する。

\*ただし、 $P_{\text{Tin}}(k)_{\text{dBm}}$ は $k$ 段目の光増幅装置のトータル入力光パワー[dBm]である。さらに、光増幅装置の帯域幅 $\Delta f$ は、Hz単位からnm単位に変換すると、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯では次の数10に示す関係が成立する。

$$\begin{aligned} \text{【0051】} \\ \text{【数10】} \end{aligned}$$

10 ※増幅装置 $4k$ における補正比率 $\Delta k$ は、次の数11に示す(13)式で具体的に表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{【0053】} \\ \text{【数11】} \end{aligned}$$

20 【0057】システム立ち上げ時の逐次出力補正実施パターンにおいては、まず、1段目の光増幅装置 $41$ が、出力補正値の計算を行いその計算結果に従って出力設定レベルを補正する。光増幅装置 $41$ の出力補正が完了すると、2段目の光増幅装置 $42$ が補正値の計算及び出力設定レベルの補正を行い、以降、下流の光増幅装置に向けて同様の処理を逐次実行する。

【0058】インサースビス状態の一斉出力補正実施パターンにおいては、各光増幅装置 $41 \sim 4n$ を現状の出力補正値に従って動作させておく。その状態で上流の光増幅装置から順に出力補正値の再計算のみを実行し、計算された各補正値を記憶しておく。そして、すべての光増幅装置の補正値が計算し終わったら、新規に計算した補正値に従って各光増幅装置の出力設定レベルを一斉に補正する。

【0059】インサースビス状態の逐次出力補正実施パターンにおいては、1段目の光増幅装置 $41$ が、出力補正値の再計算を行いその計算結果に従って出力設定レベルを補正する。光増幅装置 $41$ の出力補正が完了すると、2段目の光増幅装置 $42$ が補正値の再計算及び出力設定レベルの補正を行い、以降、下流の光増幅装置に向けて同様の処理を逐次実行する。

【0060】なお、ここでは、補正値を再計算する場合として、インサースビス状態で使用波長数に変化があった場合を想定した。しかし、この場合以外にも、例えば、光ファイバ伝送路3が空中などに敷設されたりする場合は、季節により温度変動等の影響を受けて光ファイバ伝送路3の損失が変動したりするため、一定時間（期間）ごとにそのときの入力光パワーに対応した出力補正値を再計算して再設定することが望まれる。また、各光増幅装置の入力光パワーが出力補正値を算出した時の値から一定値以上ずれた場合にも、そのときの入力光パワーに

対応した出力補正値を再計算して再設定するようにしてもよい。

【0061】上述のようにして、各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>についての出力補正を実施することにより、それぞれの光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>の出力光に含まれる 1 波長あたりの信号光パワーが一定に制御されるようになる。

【0062】具体的な一例として、補正前の出力光設定レベルが 0 dBm/c h、雑音指数が 7 dB、帯域幅が 30 nm である光増幅装置を、伝送路損失が 25 dB の光ファイバ伝送路を介して 6 段接続した WDM 光通信システムの伝送特性を以下に示す。

【0063】なお、ここでは各光増幅装置における利得偏差や光ファイバ伝送路のチルト等はないものと仮定して、説明の簡単化を図るものとする。実際には、光増幅装置の利得偏差等のために各波長間に信号光パワー偏差が生じるが、このような場合でも各波長ごとの信号光パワーの平均値を考えることにより、上記の仮定を適用した場合と同様に扱うことが可能である。

【0064】図 2 は、各光増幅装置から出力される 1 波長あたりの光パワーの変化を出力補正の有無に応じて示したレベル図である。横軸は光増幅装置の中継数を示し、縦軸は 1 波長あたりの出力光パワー [dBm/c h] を示している。

【0065】図 2 に示すように、出力補正ありの場合、信号光及び ASE 光を加算した出力光パワー（図中の×印）は、中継数の増加に伴って大きくなる。しかし、出力光に含まれる信号光のみのパワー（図中の黒三角印）に着目すると、各光増幅装置の出力において一定レベル（0 dBm/c h）に制御されていることがわかる。これと比較して、従来システムと同様の補正なしの場合には、出力光に含まれる信号光パワー（図中の黒菱形印）は、中継数の増加に伴って小さくなっていく。これは信号光及び ASE 光を加算した出力光パワーが、一定に制御されているためである。

【0066】図 3 は、各光増幅装置ごとの光 SN 比の変化を示した図である。横軸は光増幅装置の中継数を示し、縦軸は光 SN 比 [dB] を示している。ここでは、出力補正をしない場合の出力光パワーを 0 dBm/c h、伝送路損失を 25 dB、光増幅装置の雑音指数を 7 dB、帯域幅を 30 nm、1 波伝送の条件で計算を行った。

【0067】図 3 に示すように、1 段目の光増幅装置の出力において約 26 dB であった光 SN 比が、6 段目の光増幅装置の出力において、出力補正なしの場合（図中の黒菱形印）に約 10 dB まで劣化するのに対し、出力補正ありの場合（図中の黒四角印）には約 18 dB となっている。

【0068】このように、第 1 の基本構成を有する WDM 光通信システムでは、各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>について出力補正を実施することで、各々の光増幅装置から出力

される信号光パワーが、使用波長数に拘わらず一定の所要値に保持されるようになるため、WDM 信号光の伝送特性の向上を図ることができる。これにより、受信側端局 2 において優れた受信感度を得ることが可能となる。

【0069】次に、上述した第 1 の基本構成を有する WDM 光通信システムの具体的な実施形態について説明する。図 4 は、第 1 の基本構成を適用した実施形態（1-1）の構成を示すブロック図である。

【0070】実施形態（1-1）の WDM 光通信システムは、各光増幅装置の出力補正値を一括して計算し、その結果を各々の光増幅装置に伝達する方式を採ることを特徴とする。具体的には図 4 において、複数の光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>に対して 1 つの中央局 10 が設けられる。この中央局 10 内には、例えばワークステーション（WS）等の情報処理装置が備えられていて、該ワークステーションと各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>との間で双方向の情報伝達が行われる。ここでは中央局 10 が、図 1 の基本構成における補正値算出部 5 B としての機能を備える。なお、光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>をグループ化して、各グループごとに中央局を配置することも可能である。

【0071】各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>としては、例えば上述の OAA' 98, WA2, pp 173-176 や、OAA' 98, MD1, pp 54-57 等で開示した構成等を、それぞれに対して用いるのが好適である。その具体的な構成の一例を図 5 のブロック図に示す。ただし、本発明に用いられる各光増幅装置の構成はこれに限られるものではない。

【0072】図 5 に示す光増幅装置は、前段光アンプ 40 および後段光アンプ 41 を有する 2 段構成であって、各アンプの間に可変光減衰器（ATT）42 を備えている。前段アンプ 40 及び後段アンプ 41 としては、例えば、希土類元素ドープファイバを用いた光ファイバ増幅器などの公知の光増幅器を使用でき、それぞれの動作は、各 AGC 回路 40A, 41A によって利得が一定となるように制御されている。

【0073】可変光減衰器 42 は、外部からの信号により光減衰量を変化させることのできる公知の光減衰器とする。この可変光減衰器 42 の光減衰量は、ALC 回路 42A から出力される信号によって制御される。ALC 回路 42A は、後段アンプ 41 の出力光を光カプラ 42B で分岐し受光素子（PD）42C で光電変換した信号に基づいて、後段アンプ 41 の出力光パワーが出力設定レベルで一定となるように可変光減衰器 42 の光減衰量を制御する信号を発生する。このとき基準とされる出力設定レベルは、監視系（SV）43 からの信号によって制御され、中央局 10 で算出された出力補正値を反映したものとされる。具体的には、1 波長あたりの出力光パワーを  $P_o$ 、使用波長数を  $m$  としたとき、ALC レベルを  $m \times P_o$  に出力補正値を加えたレベルに設定する。

【0074】監視系 43 は、中央局 10 から送られてく

る信号に従って、ALCの出力設定レベルを制御する信号をALC回路42Aに送るとともに、入力光モニタ(MON)44で測定された入力光パワー及びメモリ(MEM)45に記憶された情報を中央局10に送る。

【0075】入力光モニタ44は、前段光アンプ40への入力光の一部を光カプラ44Aで分岐し、その分岐光をモニタすることでトータル入力光パワーを測定する。メモリ45には、本光増幅装置についての、入力光パワーに対応したNF値及び帯域幅があらかじめ記憶されている。なお、光増幅装置において使用波長数をモニタする場合には、図示しないが、例えば波長数モニタ等を別途設け、その結果を監視系43を介して中央局10に送るようにする。

【0076】ここでは、入力光モニタ44が、図1の基\*

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^k 10^{\frac{NF_i - 10 \log \left( \frac{P_{Tin}(i)}{m} \right)}{10}} \times \frac{h \nu \cdot \Delta f}{m} \dots (14a)$$

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^k 10^{\frac{NF_i - 10 \log \left( \frac{P_{Tin}(i)}{m} \right) + 10 \log (\delta_{k-i+1})}{10}} \times \frac{h \nu \cdot \Delta f}{m} \dots (14b)$$

【0079】ただし、(14a)式は、補正比率算出の際、まだ出力補正が実施されていない場合に適用され、(14b)式は、既に出力補正が実施されている場合に適用される。

【0080】なお、各光増幅装置41~4nについて、入力光パワー $P_{Tin}$ 、雑音指数NFまたは帯域幅 $\Delta F$ の値がほぼ決まっている場合には、それぞれの値を固定値と※

$$NF_k [dB] = a \times \{ 10 \log (P_{Tin}(k)/m) - 10 \log (1 + \delta_{k-1}) \} + b \dots (15)$$

ここで、a、bは光増幅装置の特性に応じて定まる定数である。このように一次近似式を用いて入力光パワーに対応したNF値を求めるようにすれば、メモリ45の記憶容量を少なくすることができる。

【0082】上記のようにして計算された各光増幅装置41~4nの補正比率 $\Delta_1 \sim \Delta_n$ は、中央局10から対応する光増幅装置41~4nの監視系43に送られる。各光増幅装置41~4nでは、中央局10からの補正比率 $\Delta_1 \sim \Delta_n$ に従って、ALCの出力設定レベルが補正される。

【0083】ここで、本WDM光通信システムにおける具体的な出力補正の実施方法を、システム立ち上げ時及びインサージス時に分けて説明する。システム立ち上げ時において、実施パターンとして上述の一斉出力補正実施パターンを適用する場合には、図6のフローチャートに示すような実施手順となる。

【0084】まず、図6のステップ101(図中S101で示し、以下同様とする)において、出力補正を実施しない状態で各光増幅装置41~4nを動作させる。ステップ102では、各光増幅装置41~4nにおいて、トータル入力光パワー $P_{Tin}$ がモニタされるとともに、各光

\*本構成における入力光測定部5Aに相当し、また、ALC回路42Aが補正実施部としての機能を有することになる。

【0077】上記のような構成を有するWDM光通信システムでは、監視系43を通じて、各光増幅装置41~4nについての情報(入力光パワー $P_{Tin}$ 、雑音指数NF、帯域幅 $\Delta F$ 、使用波長数m)が、中央局10のワークステーションに集められる。中央局10では、上述した(9)式より(13)式を求めたのと同様にして得られる、次の数12に示す(14a)式及び(14b)式を使用して、各光増幅装置41~4nについての補正比率 $\Delta_1 \sim \Delta_n$ が計算される。

【0078】

【数12】

※して各式に与えて、各々の補正比率 $\Delta_1 \sim \Delta_n$ を計算してもよい。また、入力光パワーに対応したNF値については、各光増幅装置の種類ごとに入力光パワーに対するデータベースの形式でメモリ45にあらかじめ用意しておくか、あるいは、次の(15)式で示す一次近似式を用いて算出することも可能である。

【0081】

増幅装置41~4nで使用波長数mを検出する場合には、波長数mのモニタも行われる。そして、モニタしたトータル入力光パワー $P_{Tin}$ 、それに対応した雑音指数NF、帯域幅 $\Delta F$ 及び使用波長数mが、各光増幅装置41~4nから中央局10に伝達される。なお、雑音指数NF、帯域幅 $\Delta F$ のデータは中央局10で用意しておいてもよい。

【0085】ステップ103では、中央局10において、各光増幅装置41~4nからの情報を基に、(14a)式に従って(あるいは(12)式を用いてもよい)、上流(送信)側の光増幅装置41から順に、各補正比率 $\Delta_1 \sim \Delta_n$ が算出される。この際、 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{k-1}, \dots, \delta_{n-1}$ の値はいずれも0とされる。そして、ステップ104で、算出された各補正比率 $\Delta_1 \sim \Delta_n$ が、対応する光増幅装置41~4nに伝達され、各々のメモリ45に記憶される。

【0086】各補正比率 $\Delta_1 \sim \Delta_n$ の伝達が終わると、ステップ105において、中央局10から各光増幅装置41~4nに対して、出力補正の実施を合図するコマンドが発信される。そして、ステップ106では、各光増幅装

置 4i ~ 4n において、メモリ 45 に記憶した補正比率  $\Delta_1 \sim \Delta_n$  に従い、ALC の出力設定レベルの補正が実施される。例えば、出力設定レベルが dBm 単位で与えられているならば、出力設定レベルを  $10 \log(1 + \Delta_1 \sim \Delta_n)$  増加させる。上記ステップ 101 ~ 106 の一連の処理により、システム立ち上げ時の一斉出力補正実施パターンが完了する。

【0087】また、システム立ち上げ時において、逐次出力補正実施パターンを適用する場合には、図 7 のフローチャートに示すような実施手順となる。まず、図 7 のステップ 201 において、出力補正を実施しない状態で各光増幅装置 4i ~ 4n を動作させる。そして、次のステップ 202 ~ ステップ 207 の一連の処理が、上流側の光増幅装置から順次実行される。以下では i 段目の光増幅装置 4i として説明を行う。

【0088】ステップ 202 では、トータル入力光パワー  $P_{Tin}(i)$  がモニタされるとともに、光増幅装置 4i で使用波長数 m を検出する場合には、波長数 m のモニタも行われる。そして、モニタしたトータル入力光パワー  $P_{Tin}(i)$ 、それに対応した雑音指数  $NFi$ 、帯域幅  $\Delta F$  及び使用波長数 m が光増幅装置 4i から中央局 10 に伝達される。

【0089】ステップ 203 では、中央局 10 において、光増幅装置 4i からの情報を基に、(14a) 式に従って (あるいは (12) 式を用いてもよい)、 $\delta_{i-1} = \Delta_{i-1}$  として補正比率  $\Delta_i$  が算出される。ステップ 204 では、算出された補正比率  $\Delta_i$  が光増幅装置 4i に伝達されメモリ 45 に記憶される。そして、ステップ 205 では、中央局 10 から光増幅装置 4i に対して、出力補正の実施を合図するコマンドが発信され、ステップ 206 では、光増幅装置 4i において、メモリ 45 に記憶した補正比率  $\Delta_i$  に従い、ALC の出力設定レベルの補正が実施される。例えば、出力設定レベルが dBm 単位で与えられているならば、出力設定レベルを  $10 \log(1 + \Delta_i)$  増加させる。

【0090】次に、ステップ 207 では、出力補正が最終段の光増幅装置 4n まで実施されたか否かが判定される。光増幅装置 4n まで実施されていない場合には、ステップ 202 に戻って次段の光増幅装置についての処理を繰り返し、出力補正の実施が光増幅装置 4n まで終わると、システム立ち上げ時の逐次出力補正実施パターンが完了する。

【0091】なお、ここでは中央局 10 が、ステップ 204 で補正比率を光増幅装置に伝達した後にステップ 205 で出力補正実施コマンドを発信するようにしたが、ステップ 205 を省略して補正比率の通知と同時に出力補正を実施しても構わない。

【0092】一方、インサースビス状態において、一斉出力補正実施パターンを適用する場合には、図 8 のフローチャートに示すような実施手順となる。図 8 のステップ

301 において、インサースビス状態の各光増幅装置 4i ~ 4n は、既に算出された出力補正比率 (この値を  $\delta_1 \sim \delta_n$  として表している) に従って動作している。このような状態にあつて、出力補正值の見直し要求が生じた場合、次のステップ 302 以降の処理が実行される。

【0093】ステップ 302 では、各光増幅装置 4i ~ 4n においてトータル入力光パワー  $P_{Tin}$  等がモニタされ、各々の光増幅装置 4i ~ 4n から中央局 10 に、トータル入力光パワー  $P_{Tin}$ 、雑音指数  $NF$ 、帯域幅  $\Delta F$  及び波長数 m が伝達される。

【0094】ステップ 303 では、中央局 10 において、各光増幅装置 4i ~ 4n からの情報を基に、(14b) 式に従って (あるいは (12) 式を用いてもよい)、上流 (送信) 側の光増幅装置 4i から順に、各補正比率  $\Delta_1 \sim \Delta_n$  が算出される。この際、補正比率  $\delta_{i-1}$  の値としては、前回の設定時にメモリ 45 に記憶させた、現在各光増幅装置 4i ~ 4n-1 に設定されている値を用いる。そして、ステップ 304 では、新たに算出された各補正比率  $\Delta_1 \sim \Delta_n$  が、対応する光増幅装置 4i ~ 4n に伝達され、各々のメモリ 45 の記憶データが更新される。

【0095】各補正比率  $\Delta_1 \sim \Delta_n$  の伝達が終わると、ステップ 305 において、中央局 10 から各光増幅装置 4i ~ 4n に対して、出力補正の実施を合図するコマンドが発信される。そして、ステップ 306 では、各光増幅装置 4i ~ 4n において、メモリ 45 に記憶した補正比率  $\Delta_1 \sim \Delta_n$  に従い、ALC の出力設定レベルの再補正が実施され、各光増幅装置 4i ~ 4n の ALC が再開される。これら一連の動作によりインサースビス状態の一斉出力補正実施パターンが完了する。

【0096】また、インサースビス状態において、逐次出力補正実施パターンを適用する場合には、図 9 のフローチャートに示すような実施手順となる。図 9 のステップ 401 において、インサースビス状態の各光増幅装置 4i ~ 4n は、既に算出された出力補正比率  $\delta_1 \sim \delta_n$  に従って動作している。そして、出力補正值の見直し要求があつた場合には、次のステップ 402 ~ ステップ 407 の一連の処理が、上流側の光増幅装置から順次実行される。以下では i 段目の光増幅装置 4i として説明を行う。

【0097】ステップ 402 では、トータル入力光パワー  $P_{Tin}(i)$  等がモニタされる。そして、トータル入力光パワー  $P_{Tin}(i)$ 、雑音指数  $NFi$ 、帯域幅  $\Delta F$  及び使用波長数 m が光増幅装置 4i から中央局 10 に伝達される。

【0098】ステップ 403 では、中央局 10 において、光増幅装置 4i からの情報を基に、(14b) 式に従って (あるいは (12) 式を用いてもよい)、補正比率  $\Delta_i$  が算出される。この際、 $\delta_{i-1}$  の値としては、今回計算した  $\Delta_{i-1}$  を用いる。ステップ 404 では、新たに

算出された補正比率 $\Delta_i$ が光増幅装置4*i*に伝達され、メモリ45の記憶データが更新される。そして、ステップ405では、中央局10から光増幅装置4*i*に対して、出力補正の実施を合図するコマンドが発信され、ステップ406では、光増幅装置4*i*において、メモリ45に記憶した補正比率 $\Delta_i$ に従い、ALCの出力設定レベルの再補正が実施される。

【0099】次に、ステップ407では、出力設定レベルの再補正が下流側（最終段）の光増幅装置4*n*まで実施されたか否かが判定される。光増幅装置4*n*まで実施されていない場合には、ステップ202に戻って次段の光増幅装置についての処理を繰り返し、出力補正の実施が光増幅装置4*n*まで終わると、インサースビス状態の逐次出力補正実施パターンが完了する。なお、ここでもステップ205を省略して補正比率の通知と同時に出力補正を実施しても構わない。

【0100】上述したように実施形態（1-1）では、各光増幅装置4*i*～4*n*の出力補正値を中央局10で一括して算出するようにしても、各々の光増幅装置から出力される信号光パワーが、使用波長数に拘わらず一定の所要値に保持されるようになるため、WDM信号光の伝送特性の向上を図ることができる。

【0101】次に、第1の基本構成を適用した別の実施形態（1-2）について説明する。図10は、実施形態（1-2）におけるWDM光通信システムの構成を示すブロック図である。

【0102】実施形態（1-2）のWDM光通信システムは、各光増幅装置が自局の出力補正値を算出することができ、前段の光増幅装置で算出された補正値を後段の光増幅装置に転送していく方式を採ることを特徴とする。具体的には図10において、複数の光増幅装置4*i*～4*n*それぞれに補正値算出部（CAL）としての機能が備えられる。

【0103】図11は、各光増幅装置4*i*～4*n*の具体的な構成の一例を示すブロック図である。図11の光増幅装置の構成は、上述の図5に示した光増幅装置の構成について基本的に補正値算出のための要素を付加したものである。具体的には、図5の監視系43に代えて、WDMカブラ46A、OSC用光受信器（OSC O/E）46B、信号処理回路46、OSC用光送信器（OSC E/O）46C及びWDMカブラ46Eが設けられる。なお、ここでは前段で算出された補正値や波長数等の転送が、監視制御（OSC）信号により行われるものとする。この監視制御信号は、中継伝送されるWDM信号光の主信号波長とは別の波長を有する光信号であって、主信号光とともに波長多重されて各光増幅装置4*i*～4*n*間を伝送される。

【0104】WDMカブラ46Aは、光ファイバ伝送路3を通して光増幅装置に入力されたWDM光から監視制御信号成分を抽出する光デバイスであって、ここでは光

カブラ44Aの前段に配置される。OSC用光受信器46Bは、WDMカブラ46Aで抽出された光信号を受光して監視制御信号を再生し信号処理回路46に出力する。信号処理回路46は、OSC用光受信器46Bからの監視制御信号、入力光モニタ44からのトータル入力光パワー及びメモリ45に記憶された雑音指数及び帯域幅を用いて（12）式に従い補正比率を算出した後に、ALCの出力設定レベルを補正する信号をALC回路42Aに送る。算出された補正比率は、メモリ45に記憶されるとともに、後段の光増幅装置への監視制御信号としてOSC用光送信器46Cに送られる。OSC用光送信器46Cは、信号処理回路46からの監視制御信号を光信号に変換してWDMカブラ46Eに出力する。WDMカブラ46Eは、OSC用光送信器46Cからの出力光を主信号光に合波する光デバイスであって、ここでは光カブラ44Aの後段に配置される。

【0105】ここで、本WDM光通信システムにおける具体的な出力補正の実施方法を、システム立ち上げ時及びインサースビス時に分けて説明する。システム立ち上げ時において、一斉出力補正実施パターンを適用する場合には、図12のフローチャートに示すような実施手順となる。

【0106】まず、図12のステップ501において、出力補正を実施しない状態で各光増幅装置4*i*～4*n*を動作させる。そして、次のステップ502～ステップ507の一連の処理が、上流側の光増幅装置から順次実行される。以下では*i*段目の光増幅装置4*i*として説明を行う。

【0107】ステップ502では、前段の光増幅装置4*i-1*から送られてくる監視制御信号を受信して、使用波長数*m*及び前段で算出された補正比率 $\Delta_{i-1}$ を得る。ただし、初段（*i*=1）の光増幅装置の場合には使用波長数*m*のみを得るものとする。そして、ステップ503では、光増幅装置4*i*へのトータル入力光パワー $P_{\text{Tin}(i)}$ 等がモニタされる。

【0108】ステップ504では、信号処理回路46において、ステップ502、503で得られたデータ並びにメモリ45に記憶された対応する雑音指数*NFi*及び帯域幅 $\Delta F$ を用い（12）式に従って、 $\delta_{i-1}=0$ として補正比率 $\Delta_i$ が算出される。ステップ505では、算出された補正比率 $\Delta_i$ がメモリ45に記憶される。ステップ506では、光増幅装置4*i*における補正比率 $\Delta_i$ 及び使用波長数*m*の情報が、監視制御信号として次段の光増幅装置4*i+1*に送信される。

【0109】そして、ステップ507では、補正比率の算出が最終段の光増幅装置4*n*まで終わったか否かが判定される。光増幅装置4*n*まで終わっていない場合には、ステップ502に戻って次段の光増幅装置についての処理を繰り返し、光増幅装置4*n*まで終わると、次のステップ508に進む。

【0110】ステップ508では、各光増幅装置4i~4nに対して、出力補正の実施を合図するコマンドが発信される。このコマンドは、例えば監視制御信号などを介して各光増幅装置4i~4nに瞬時に通知されるようにする。そして、ステップ509では、各光増幅装置4i~4nにおいて、メモリ45に記憶した補正比率 $\Delta_i \sim \Delta_n$ に従い、ALCの出力設定レベルの補正が実施される。この際、出力設定レベルがdBm単位で与えられているならば、出力設定レベルを $10 \log(1 + \Delta_i \sim \Delta_n)$ 増加させる。このようにしてシステム立ち上げ時の一斉出力補正実施パターンが完了する。

【0111】また、システム立ち上げ時において、逐次出力補正実施パターンを適用する場合には、図13のフローチャートに示すような実施手順となる。図13において、ステップ601~ステップ603の各処理は、上記の一斉出力補正実施パターンを適用した場合のステップ501~ステップ503の各処理と同様である。

【0112】次のステップ604では、信号処理回路46において、ステップ502、503で得られたデータ並びにメモリ45に記憶された対応する雑音指数NF<sub>i</sub>及び帯域幅 $\Delta F$ を用い(12)式に従って、補正比率 $\Delta_i$ が算出される。この際、 $\delta_{i-1} = \Delta_{i-1}$ として計算が行われる。ステップ605では、算出された補正比率 $\Delta_i$ がメモリ45に記憶されるとともに、その補正比率 $\Delta_i$ に従ってALCの出力設定レベルの補正が実施される。さらに、ステップ606では、メモリに記憶させた補正比率 $\Delta_i$ 及び使用波長数mの情報が、監視制御信号として次段の光増幅装置4i+1に送信される。

【0113】次に、ステップ607では、補正比率の算出及び出力補正の実施が最終段の光増幅装置4nまで終わったか否かが判定される。光増幅装置4nまで終わっていない場合には、ステップ602に戻って次段の光増幅装置についての処理を繰り返し、光増幅装置4nまで終わると、システム立ち上げ時の逐次出力補正実施パターンが完了する。

【0114】一方、インサースビス状態においては、上述したシステム立ち上げ時の実施手順と比較したとき、最初のステップ501、601での各光増幅装置4i~4nの動作が、既に算出された出力補正比率 $\delta_i \sim \delta_n$ に従っている点が異なるとともに、一斉出力補正実施パターンを適用する場合には、上述のステップ504での補正比率 $\Delta_i$ の算出において、 $\delta_{i-1}$ として用いる値は、前回の設定時に前段の光増幅装置4i-1のメモリ45に記憶させたものを転送してもらうか、あるいは、前回の設定時に光増幅装置4iで受信しメモリ45に記憶させた前段の補正比率を用いる点が異なる。上記の点以外のインサースビス状態における実施手順は、システム立ち上げ時の実施手順と同様であるため、ここでの説明は省略する。

【0115】上述したように実施形態(1-2)では、各光増幅装置4i~4nにおいてそれぞれ出力補正値を算

出するようにしても、実施形態(1-1)の場合と同様の効果を得ることができる。

【0116】次に、第1の基本構成を適用したさらに別の実施形態(1-3)について説明する。実施形態(1-3)のWDM光通信システムは、例えば実施形態(1-2)について、インサースビス状態における使用波長数の変化に対して速やかに出力補正値を設定できるように、出力補正値の算出方法に改良を施したことを特徴とする。システムの構成自体は、上述の図10に示した実施形態(1-2)の場合と同様であるため説明を省略する。

【0117】実施形態(1-3)では、システムで使用される最大波長数 $m_{max}$ までの補正値を事前に各光増幅装置4i~4nで算出し、各光増幅装置4i~4n内のメモリ45に記憶させておき、インサースビス状態で使用波長数が変化したとき、それに対応する波長数の補正値が出力設定レベルに反映されるようにする。各光増幅装置4i~4nで最大波長数 $m_{max}$ までの補正値が事前に算出できるのは、上述の(12)式における $\{NF_k - 10 \log(P_{TIn}(k)/m) + 10 \log(1 + \delta_{k-1})\}$ の値が使用波長数によらずに一定となるためである。ある波長数における上記の値が得られれば、その値を固定として(12)式で波長数mを1波から最大波長数 $m_{max}$ まで順次代入して、それぞれの波長数に対応した補正比率 $\Delta_k$ を算出することができる。

【0118】ここで、例えばi段目の光増幅装置4iにおける補正比率の基本的な算出方法を図14のフローチャートを用いて説明する。図14において、ステップ701では、前段の光増幅装置4i-1で算出された、最大波長数 $m_{max}$ までの各波長数m( $=1 \sim m_{max}$ )に対応した補正比率 $\Delta_{i-1}(m)$ と、現在動作中の波長数 $m_0$ と、光増幅装置4i-1で現在実施されている補正比率 $\delta_{i-1}(m_0)$ とが、例えば監視制御信号などによって、前段の光増幅装置4i-1からi段目の光増幅装置4iに伝達される。ただし、前段の光増幅装置4i-1が、新規に算出した補正比率 $\Delta_{i-1}(m_0)$ に従って出力補正を実施している場合には、 $\delta_{i-1}(m_0) = \Delta_{i-1}(m_0)$ となる。このような場合には、光増幅装置間の転送情報量を減らすことが可能である。

【0119】ステップ702では、光増幅装置4iが、前段からの監視制御信号を受信して、光増幅装置4i-1における上記の各情報を得るとともに、光増幅装置4iへのトータル入力光パワー $P_{TIn}(i)$ がモニタされる。そして、ステップ703では、トータル入力光パワー $P_{TIn}(i)$ 、それに対応した雑音指数NF<sub>i</sub>、帯域幅 $\Delta F$ 及び前段の光増幅装置4i-1から得た各情報を、上述の(12)式に従って、現在の波長数 $m_0$ における補正比率 $\Delta_i(m_0)$ だけでなく、最大波長数 $m_{max}$ までの各波長数mに対応した補正比率 $\Delta_i(1) \sim \Delta_i(m_{max})$ をそれぞれ算出する。そして、ステップ704では、算



出された各補正比率 $\Delta_i(1) \sim \Delta_i(m_{\max})$ の値が、光増幅装置4iのメモリ45に記憶される。

【0120】ステップ705では、光増幅装置4iにおける最大波長数 $m_{\max}$ までの各波長数 $m(=1 \sim m_{\max})$ に対応した補正比率 $\Delta_i(m)$ と、現在の波長数 $m_0$ と、現在実施されている補正比率 $\delta_i(m_0)$ とが、次段の光増幅装置4i+1に送信される。この場合にも、次段への送信を行う前に、新規に算出した補正比率 $\Delta_i(m_0)$ に従った出力設定レベルの補正を実施しているときには、 $\delta_i(m_0) = \Delta_i(m_0)$ となる。

【0121】上記ステップ701～ステップ705の一連の処理を、上流側の光増幅装置から順次実行することにより、各光増幅装置4i～4nの各々のメモリ45内には、1波から最大波長数 $m_{\max}$ までの各波長数に対応した補正比率がそれぞれ記憶されるようになる。これにより、インサースタート状態において使用波長数の変更が生じ\*

$$\begin{aligned} d_k &= d_{k-1} \\ &+ h \nu \cdot \Delta f \cdot 10 \frac{NF_k - 10 \log(P_{\text{Pin}(k)} / m_0) + 10 \log(1 + \delta_{k-1})}{10} \\ &= d_{k-1} + c_k \quad \dots (16) \\ d_0 &= c_0 = 0, \quad d_1 = d_0 + c_1 = c_1 \end{aligned}$$

【0125】この(16)式の第2項の値は、トータル入力光パワーと雑音指数とで決まり、波長数には依存しない。よって、 $d_k$ 及び $c_k$ の値も波長数に依らない値である。したがって、波長数 $m$ のときの補正比率は、 $d_k$ を用いて次の(17)式で与えられる。

$$\Delta_k(m) = d_k / m \quad \dots (17)$$

上記(17)式の関係より、各光増幅装置間では、現在の使用波長数 $m_0$ に対応した $d_k$ の値を転送し、各光増幅装置は、得られた $d_k$ を最大波長数 $m_{\max}$ までの各波長数でそれぞれ割って、各波長数に対応する補正比率 $\Delta_k(1) \sim \Delta_k(m_{\max})$ を算出しメモリ45に記憶させればよい。

【0127】例えば、光増幅装置4k-1と光増幅装置4kの間においては、現在の使用波長数 $m_0$ と、出力補正值に関する量 $d_{k-1}$ と、光増幅装置4k-1で現在実施されている補正比率 $\delta_{k-1}$ とを転送すれば、光増幅装置4kにおいて各波長数に対応した補正比率を算出できる。また、光増幅装置4k-1で新規に算出した補正比率に従って既に出力補正が実施されている場合、すなわち、 $\delta_{k-1} = \Delta_{k-1}$ のときには、 $\delta_{k-1} = d_{k-1} / m_0$ で与えられるので、現在の使用波長数 $m_0$ 及び $d_{k-1}$ のみを光増幅装置4kに転送すればよい。

【0128】このようにして出力補正值に関する量 $d_{k-1}$ を用いることで、光増幅装置間の転送データ量を大幅に削減することができるようになる。上記のように転

\*たときには、各光増幅装置4i～4nのそれぞれが、変更後の波長数に対応した補正比率をメモリ45から読み出し、その読み出した補正比率に従って出力補正值をそれぞれ変更することで、速やかな出力補正の実施が可能となる。

【0122】なお、上記の方法では、最大波長数 $m_{\max}$ までの各波長数に対応した複数の補正比率が各光増幅装置4i～4n間で転送されるため、最大波長数 $m_{\max}$ が多くなると転送されるデータ量も非常に多くなる。このような場合には、次のようにして転送データ量を削減することが可能である。

【0123】上述の(12)式について $m \times \Delta_k = d_k$ とすると、(12)式は次の数13に示す(16)式に変形できる。

【0124】

【数13】

送データの簡略化を図った場合における具体的な出力補正の実施方法を、一斉出力補正実施パターンを適用した場合と、逐次出力補正実施パターンを適用した場合とに分けて説明する。

【0129】図15は、一斉出力補正実施パターンを適用した場合のフローチャートである。まず、図15のステップ801では、システム立ち上げ時などのインサースタート状態になる前に、出力補正を実施しない状態で各光増幅装置4i～4nを動作させる。そして、次のステップ802～ステップ808の一連の処理が、上流側の光増幅装置から順次実行される。以下ではi段目の光増幅装置4iとして説明を行う。

【0130】ステップ802では、光増幅装置4iが、前段の光増幅装置4i-1から送られてくる監視制御信号を受信して、現在の使用波長数 $m_0$ と、光増幅装置4i-1の出力補正值に関する量 $d_{i-1}$ とを得る。そして、ステップ803では、光増幅装置4iへのトータル入力光パワー $P_{\text{Pin}(i)}$ がモニタされる。

【0131】ステップ804では、モニタされたトータル入力光パワー $P_{\text{Pin}(i)}$ に対応する雑音指数 $NF_i$ 、帯域幅 $\Delta f$ 、波長数 $m_0$ 及び光増幅装置4i-1の出力補正值に関する量 $d_{i-1}$ を用い、(16)式に従って、光増幅装置4iの出力補正值に関する量 $d_i$ を算出する。この際、 $\delta_{i-1}$ の値は0とする。次に、ステップ805では、算出した $d_i$ を用い、(17)式の関係に従って、



最大波長数 $m_{max}$ までの各波長数 $m$  ( $=1 \sim m_{max}$ ) に対応する補正比率 $\Delta_i(m)$ がそれぞれ計算される。そして、ステップ806では、各々の補正比率 $\Delta_i(m)$ が光増幅装置4iのメモリ45に記憶される。ステップ807では、光増幅装置4iの出力補正值に関する量 $d_i$ 及び現在の波長数 $m_0$ が次段の光増幅装置4i+1に送信される。

【0132】そして、ステップ808では、補正比率の算出が最終段の光増幅装置4nまで終わったか否かが判定される。光増幅装置4nまで終わっていない場合には、ステップ802に戻って次段の光増幅装置についての処理を繰り返し、光増幅装置4nまで終わると、次のステップ809に進む。

【0133】ステップ809では、各光増幅装置4i~4nに対して、出力補正の実施を合図するコマンドが発信される。そして、ステップ810では、各光増幅装置4i~4nにおいて、メモリ45に記憶された各補正比率のうちの、現在の波長数 $m_0$ に対応した補正比率 $\Delta_i(m_0) \sim \Delta_n(m_0)$ に従い、ALCの出力設定レベルの補正が実施される。

【0134】そして、インサースビス状態となった後、使用波長数に変更が発生すると、ステップ811において、各光増幅装置4i~4nで変更後の波長数に対応した補正比率がメモリ45から読み出され、その補正比率の設定変更が行われて、再びステップ809に戻り出力補正実施コマンドの発信等が行われる。

【0135】図16は、逐次出力補正実施パターンを適用した場合のフローチャートである。図16において、ステップ901~ステップ903の各処理は、上記の一斉出力補正実施パターンを適用した場合のステップ801~ステップ803の各処理と同様である。次のステップ904では、 $\delta_{i-1} = d_{i-1} / m_0 = \Delta_{i-1}(m_0)$ として、上記ステップ804の場合と同様に(16)式に従って、光増幅装置4i-1の出力補正值に関する量 $d_i$ を算出する。そして、ステップ905では、算出した $d_i$ を用い、(17)式の関係に従って、最大波長数 $m_{max}$ までの各波長数 $m$  ( $=1 \sim m_{max}$ ) に対応する補正比率 $\Delta_i(m)$ がそれぞれ計算され、ステップ906で光増幅装置4iのメモリ45に記憶される。

【0136】次に、ステップ907では、現在の波長数 $m_0$ に対応する補正比率 $\Delta_i(m_0)$ に従って、光増幅装置4iの出力設定レベルの補正が実施される。そして、ステップ908では、光増幅装置4iの出力補正值に関する量 $d_i$ 及び現在の波長数 $m_0$ が次段の光増幅装置4i+1に送信される。

【0137】ステップ909では、出力補正の実施が最終段の光増幅装置4nまで終わったか否かが判定される。光増幅装置4nまで終わっていない場合には、ステップ902に戻って次段の光増幅装置についての処理を繰り返し、光増幅装置4nまで終わると、インサースビス

状態に移る。

【0138】そして、使用波長数に変更が発生すると、ステップ910において、各光増幅装置4i~4nで変更後の波長数に対応した補正比率がメモリ45から読み出され、その補正比率に従って出力設定レベルの再補正が逐次行われる。

【0139】なお、上述した各パターンにおける実施方法では、インサースビス状態となる以前に、各光増幅装置4i~4nについて1波から最大波長数 $m_{max}$ に対応する補正比率を設定するようにしたが、このような処理をインサースビス状態となった後に行うことも可能である。この場合には、上記ステップ801、901での各光増幅装置4i~4nの動作が、既に算出された出力補正比率 $\delta_1 \sim \delta_n$ に従っている点が異なるとともに、一斉出力補正実施パターンを適用する場合には、上記のステップ804での $d_i$ の算出において、 $\delta_{i-1}$ として用いる値は、前回の設定時に前段の光増幅装置4i-1のメモリ45に記憶させた旧 $d_{i-1}$ を転送してもらうか、あるいは、前回の設定時に光増幅装置4iで受信しメモリ45に記憶させた前段の旧 $d_{i-1}$ を用い、 $\delta_{i-1} = \text{旧 } d_{i-1} / m_0$ とする点異なる。上記の点以外のインサースビス状態における実施手順は、システム立ち上げ時の実施手順と同様であるため説明を省略する。

【0140】上述したように実施形態(1-3)によれば、インサースビス状態における波長数の変更に対して速やかな出力補正の実施が可能となる。また、(16)式で表される出力補正值に関する量 $d$ を適用することにより、各光増幅装置間で転送されるデータ量の低減を図ることが可能である。

【0141】次に、第1の基本構成を適用したさらに別の実施形態(1-4)について説明する。実施形態(1-4)のWDM光通信システムは、複数の光増幅装置4i~4nの雑音指数や帯域幅等に関する特性がほぼ揃っていて、かつ、各光増幅装置4i~4nへの入力光パワーが大きく変化しないようなシステムに対して、出力補正值を2次元テーブルの形式で各光増幅装置4i~4nのメモリに用意しておくことを特徴とするものである。システムの構成自体は、上述の図1に示した実施形態(1-1)の場合や、図10に示した実施形態(1-2)の場合と同様である。

【0142】実施形態(1-4)では、例えば、同種の光増幅装置を用いるなどして、比較的特性の揃った複数の光増幅装置4i~4nが実現される。このような光増幅装置4i~4nを用い、また、各光増幅装置4i~4nへの入力光パワーが大きく変化しないようなシステム条件下にあっては、各光増幅装置4i~4nにおける出力補正值を、光増幅装置の中継段数と波長数とによる2次元のテーブルの形式で与えることが可能となる。したがって、上記のような出力補正值の2次元テーブルを各光増幅装置4i~4nのメモリ45にそれぞれ記憶させておき、そ

それぞれの光増幅装置が何段目に配置されているかと使用波長数とを、監視系などを介して各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>に通知してやることで、各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>は、メモリ 45 に記憶された補正值テーブルから、通知された情報に該当するデータを読み出して、出力補正值を設定できるようにする。

【0143】上記の補正值テーブルは、上述の(12)＊

＊式から求めることができる。ここでは、例えば、各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>への1波長あたりの入力光パワーを-25 dBmとし、このときの各光増幅装置の雑音指数を7 dB、帯域幅を30 nmとした場合に与えられる補正值テーブルを、次の表1に示しておく。

【0144】

【表1】

波長数	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.5	4.0	5.2	6.1	6.8	7.5	8.0	8.5
2	1.4	2.5	3.3	4.0	4.6	5.2	5.6	6.1
3	1.0	1.8	2.5	3.0	3.6	4.0	4.4	4.8
4	0.8	1.4	2.0	2.5	2.9	3.3	3.7	4.0
5	0.6	1.2	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2	3.5
6	0.5	1.0	1.4	1.8	2.1	2.5	2.8	3.0
7	0.4	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5	2.7
8	0.4	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5
9	0.4	0.7	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2
10	0.3	0.6	0.9	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1
11	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
12	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
13	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7
14	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6
15	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5
16	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4
17	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3
18	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3
19	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2
20	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2
21	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1
22	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
23	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0
24	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0
25	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
26	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
27	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
28	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9
29	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
30	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
31	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
32	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8

【0145】上記の表1に示した各数値は、dB単位で表した1波長あたりの出力補正值を示し、例えば、2段目に設置された光増幅装置 4<sub>2</sub>であって2波で動作している時には、出力補正值が2.5 dBとなる。このため、光増幅装置 4<sub>2</sub>の出力設定レベルは、例えば基準値が0 dBm/c hのときには、その基準値を2.5 dB補正して、2.5 dBm/c hに設定される。

【0146】このように実施形態(1-4)によれば、特性の揃った光増幅装置を用いるとともに、入力光パワーの変化が小さいシステムにあつては、各光増幅装置 4<sub>1</sub>～4<sub>n</sub>に対する出力補正值を2次元テーブルの形式であらかじめ用意しておくことができるため、複数の光増幅装置について個々に出力補正值を算出する必要がなくなり、WDM光通信システムの構成をより簡略なものにできる。

【0147】次に、本発明に係るWDM光通信システムの第2の基本構成について説明する。第2の基本構成を有するWDM光通信システムでは、複数の光増幅装置のそれぞれにおいて、出力光に含まれる信号光パワーまた

は光増幅装置から得られる光信号に含まれるASE光パワーが実際にモニタされ、そのモニタ値に基づいてALCの出力設定レベルの補正が実施される。

【0148】図17は、第2の基本構成のWDM光通信システムに適用される光増幅装置の構成例を示すブロック図である。この光増幅装置の構成は、上述の図21に示したWDM光通信システムの各光増幅装置に適用される。

【0149】図17に示す光増幅装置の基本構成は、光増幅部50、光測定部51及び補正実施部52を有する。光増幅部50は、例えば希土類元素ドープファイバを用いた光ファイバ増幅器などの公知の光増幅器とすることができる。光測定部51は、光増幅部50の出力光を分岐して得た分岐光に含まれる信号光またはASE光のパワーを測定できる後述するような各種の構成とすることが可能である。補正実施部52は、光測定部51の測定結果に基づいて、光増幅部50における出力設定レベルの補正を実施するものである。

【0150】このような第2の基本構成を有するWDM

光通信システムの具体的な実施形態について説明する。  
図 18 は、第 2 の基本構成を適用した実施形態 (2-1) における光増幅装置の構成例を示すブロック図である。

【0151】図 18 の光増幅装置は、光増幅部 50、光分岐部 51A、光フィルタ (FIL) 51B、受光素子 (PD) 51C 及び信号処理部 52A を有する。光分岐部 51A は、ここでは光増幅部 50 の後段に挿入され、光増幅部 50 からの出力光の一部を分岐して光フィルタ 51B に送る一般的な光デバイスである。なお、光分岐部 51A の挿入位置は、光増幅部 50 の後段に限らず、光増幅部 50 の出力端より前方としてもよい。これは、光増幅部 50 で発生する ASE 光が出力端方向だけでなく任意の方向に伝搬するという事実に基づき可能となるものである。

【0152】光フィルタ 51B は、透過帯域が信号光の波長帯を除いた光増幅部 50 の帯域内にあって、その透過帯域での ASE 光成分のみを抽出することが可能である。具体的には、透過帯域の中心波長が信号光波長間または信号光波長外の波長に位置するような光フィルタを用いることができる。図 19 には、中心波長が信号光波長間に位置する場合の透過特性を模式的に示しておく。

【0153】受光素子 51C は、光フィルタ 51B で抽出された ASE 光を電気信号に変換し、モニタ値  $P_{\text{mon}}$  として信号処理部 52A に出力する。信号処理部 52A は、受光素子 51C からのモニタ値  $P_{\text{mon}}$  と、あらかじめ記憶された光フィルタ 51B の透過帯域幅  $\Delta f_{\text{FIL}}$  及び光増幅部 50 の帯域幅  $\Delta f$  とを用い、次の (18) 式に従って、ASE 光パワー  $P_{\text{ASE}}$  を求める。

$$【0154】P_{\text{ASE}} = K \cdot \Delta f / \Delta f_{\text{FIL}} \quad \cdots (18)$$

ここで、 $K$  は比例係数とする。そして、信号処理部 52A は、光増幅部 50 における AL C の出力設定レベルが出力基準値に前記 ASE 光パワー  $P_{\text{ASE}}$  を加えた値となるように設定するための信号を生成して、光増幅部 50 に出力する。ここでの出力基準値は、1 波長あたりの出力信号光パワーの設定値  $P_{\text{outsig1}}$  及び使用波長数  $m$  を用いて、 $m \times P_{\text{outsig1}}$  で与えられる値であって、監視系 (SV) などを通じて信号処理部 54 に伝達される。

【0155】このように実施形態 (2-1) の WDM 光通信システムでは、複数の光増幅装置のそれぞれにおいて、実際に ASE 光パワー  $P_{\text{ASE}}$  を測定し、光増幅部 50 の出力設定レベルを  $m \times P_{\text{outsig1}} + P_{\text{ASE}}$  に設定してやることにより、各々の光増幅装置から出力される信号光パワーが、使用波長数に拘わらず一定の所要値に保持されるようになるため、WDM 信号光の伝送特性の向上を図ることができる。

【0156】次に、第 2 の基本構成を有する WDM 光通信システムの他の実施形態 (2-2) について説明する。図 20 は、実施形態 (2-2) における光増幅装置の構成例を示すブロック図である。

【0157】実施形態 (2-2) の光増幅装置は、光測定部 51 として光スペクトルアナライザを用い、光増幅装置の出力光に含まれる 1 波長あたりの信号光パワーを測定し、その測定結果を AL C の出力設定レベルに反映させるようにしたものである。図 20 においては、例えば、上述の OAA' 98, WA2, pp173-176 や、OAA' 98, MD1, pp54-57 等で開示された構成 (図 5 等を参照) について、後段光アンプ 41 の出力光の一部を光分岐回路 51D で分岐し、その分岐光を光スペクトルアナライザ (SP) 51E に入力して出力光のスペクトルを測定し、1 波長あたりの平均信号光パワーを検出する。そして、その検出結果に応じて、光アンプ 41 からの出力光に含まれる 1 波長あたりの信号光パワーが所要の一定値となるように、可変光減衰器 42 の光減衰量が AL C 回路 42A からの信号に従って制御される。

【0158】このように実施形態 (2-2) の WDM 光通信システムでは、各光増幅装置において実際に 1 波長あたりの信号光パワーを測定し、その値が一定となるように AL C の出力設定レベルを制御してやることによっても、WDM 信号光の伝送特性を向上させることができる。

【0159】なお、上述した各実施形態では WDM 光通信システムについて説明を行ったが、本発明は WDM 光通信システムとしてだけでなく、出力補正機能を備えた光増幅装置としても有効であることは明らかである。

#### 【0160】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、光増幅装置の出力光に含まれる 1 波長あたりの信号光パワーを波長数に拘わらず一定に保つ出力補正を実施したことによって、WDM 光通信システムにおける伝送特性の向上を図ることができ、受信側の端局において優れた受信感度を得ることが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る WDM 光通信システムの第 1 の基本構成を示すブロック図である。

【図 2】第 1 の基本構成を有する WDM 光通信システムの各光増幅装置から出力される 1 波長あたりの光パワーの変化を示したレベル図である。

【図 3】第 1 の基本構成を有する WDM 光通信システムの各光増幅装置ごとの光 SN 比の変化を示した図である。

【図 4】実施形態 (1-1) の WDM 光通信システムの構成を示すブロック図である。

【図 5】同上実施形態 (1-1) に用いられる光増幅装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 6】同上実施形態 (1-1) について、システム立ち上げ時に一斉出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 7】同上実施形態 (1-1) について、システム立

ち上げ時に逐次出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 8】 同上実施形態 (1-1) について、インサース状態で一斉出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 9】 同上実施形態 (1-1) について、インサース状態で逐次出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 10】 実施形態 (1-2) の WDM 光通信システムの構成を示すブロック図である。

【図 11】 同上実施形態 (1-2) に用いられる光増幅装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 12】 同上実施形態 (1-2) について、システム立ち上げ時に一斉出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 13】 同上実施形態 (1-2) について、システム立ち上げ時に逐次出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 14】 実施形態 (1-3) における補正比率の基本的な算出方法を示すフローチャートである。

【図 15】 同上実施形態 (1-3) について、一斉出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 16】 同上実施形態 (1-3) について、逐次出力補正実施パターンを適用した場合の補正実施方法を示すフローチャートである。

【図 17】 本発明に係る第 2 の基本構成の WDM 光通信システムに適用される光増幅装置の構成例を示すブロッ

ク図である。

【図 18】 実施形態 (2-1) に用いられる光増幅装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 19】 同上実施形態 (2-1) に用いられる光フィルタの特性を説明する図である。

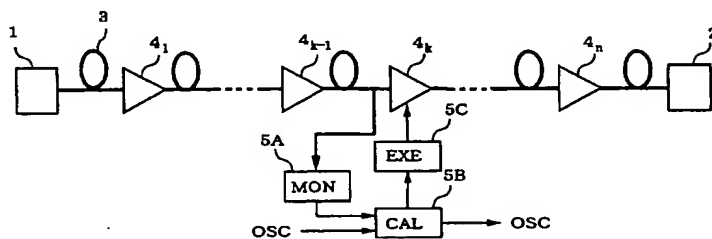
【図 20】 実施形態 (2-2) に用いられる光増幅装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 21】 一般的な WDM 光通信システムの構成を示すブロック図である。

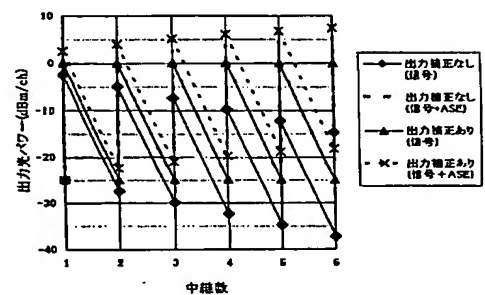
#### 10 【符号の説明】

- 1, 2…端局
- 3…光ファイバ伝送路
- 4<sub>1</sub>~4<sub>n</sub>…光増幅装置
- 5A…入力光測定部 (MON)
- 5B…補正值算出部 (CAL)
- 5C…補正実施部 (EXE)
- 10…中央局
- 40…前段アンプ
- 41…後段アンプ
- 42…可変光減衰器 (ATT)
- 42A…ALC回路
- 43…監視系 (SV)
- 45…メモリ (MEM)
- 46…信号処理回路
- 50…光増幅部
- 51…光測定部
- 51B…光フィルタ (FIL)
- 51E…光スペクトルアナライザ (SP)

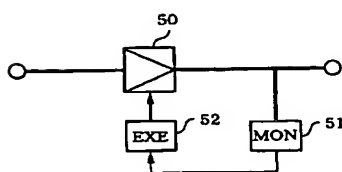
【図 1】



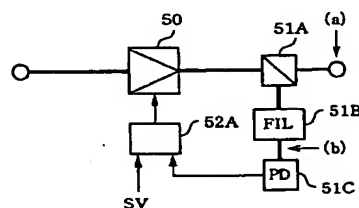
【図 2】



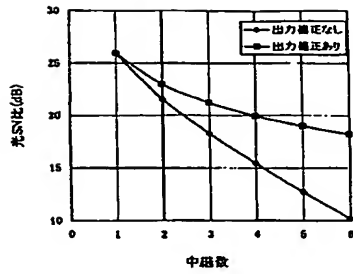
【図 17】



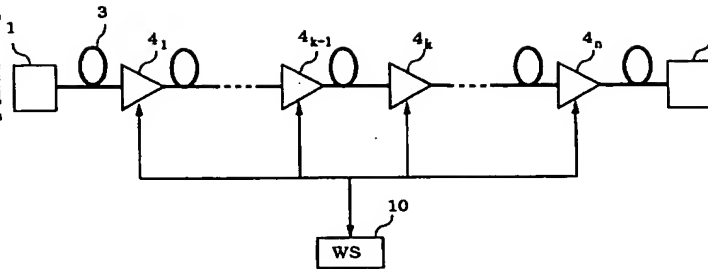
【図 18】



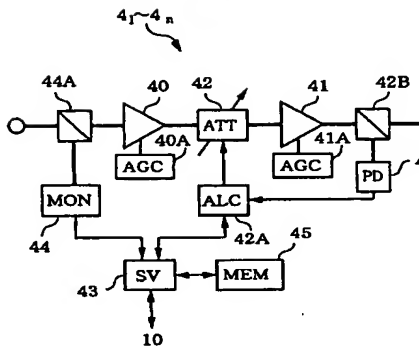
【図3】



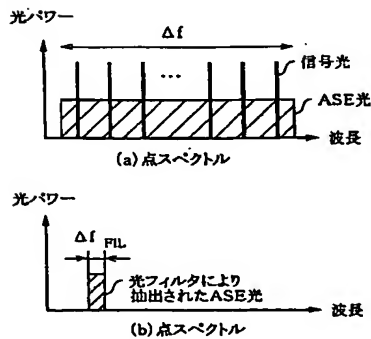
【図4】



【図5】

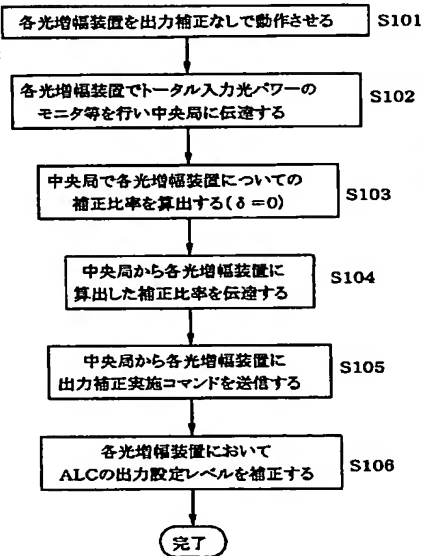


【図19】



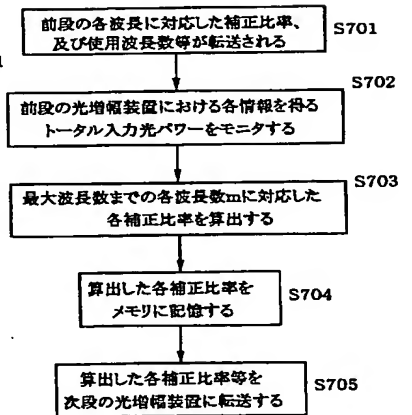
【図6】

実施形態(1-1)  
システム立ち上げ時  
一斉出力補正実施パターン

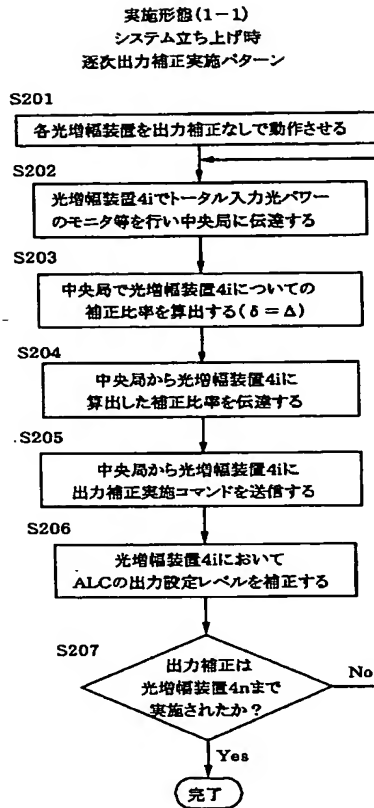


【図14】

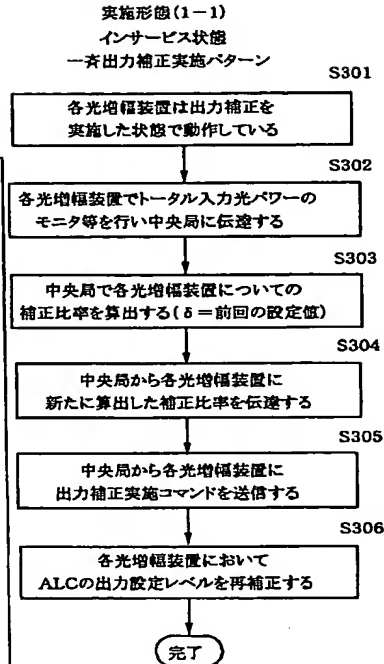
実施形態(1-3)  
補正比率の算出方法



【図 7】

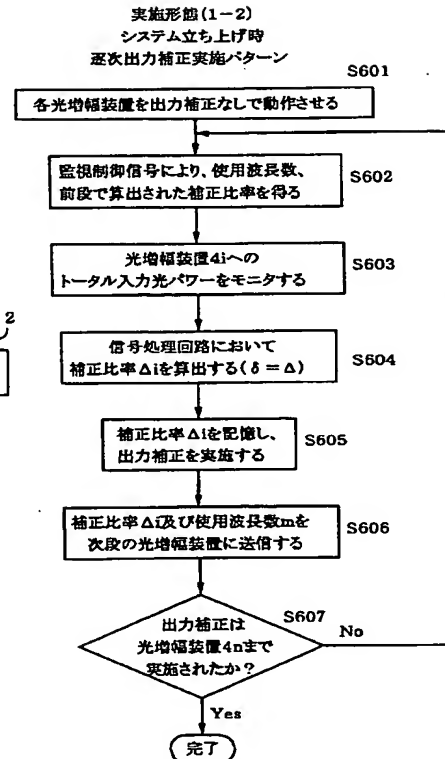
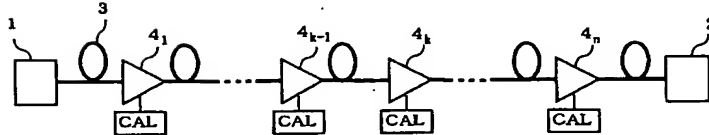


【図 8】

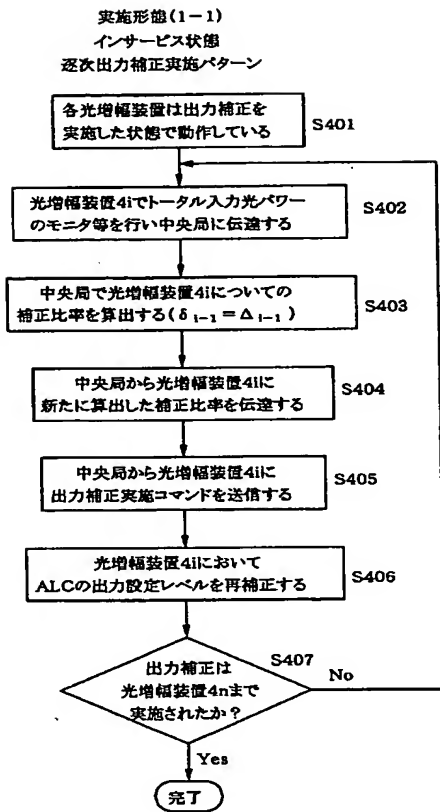


【図 13】

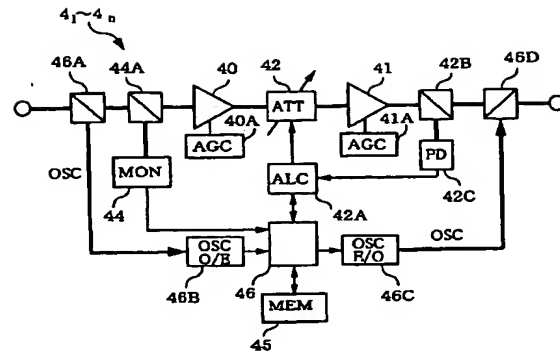
【図 10】



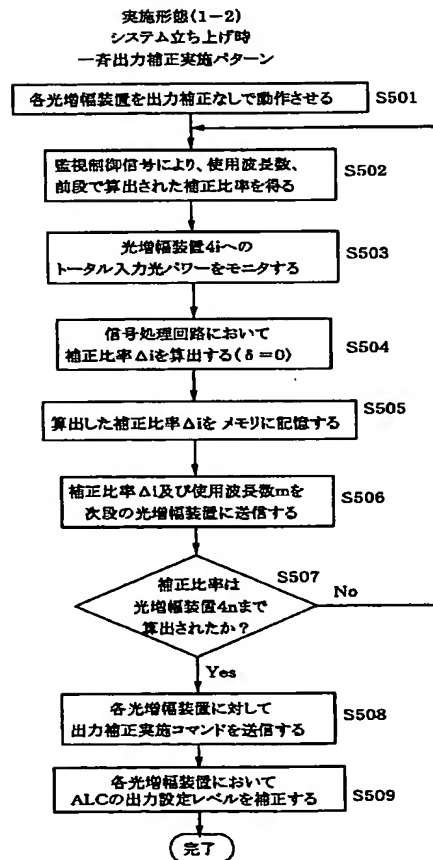
【図9】



【図 1 1】



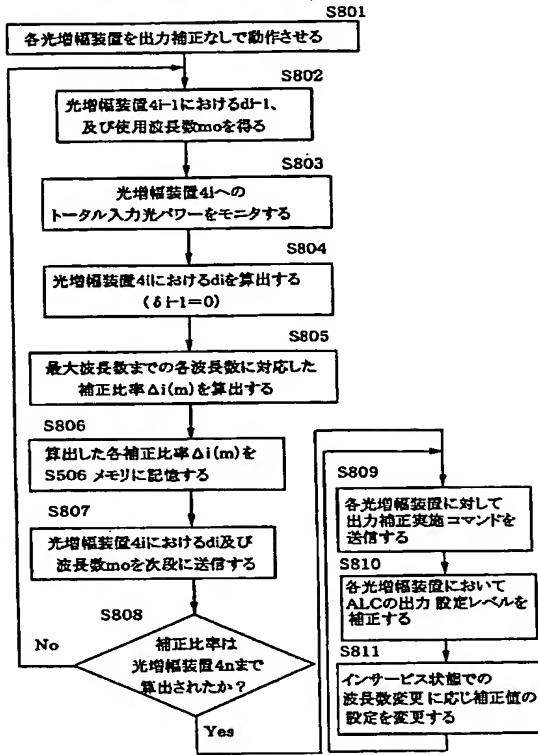
【図 12】





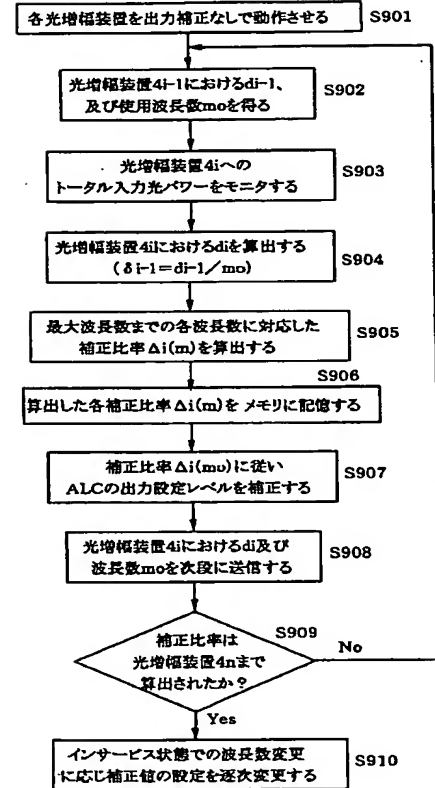
【図 15】

実施形態(1-3)  
一斉出力補正実施パターン

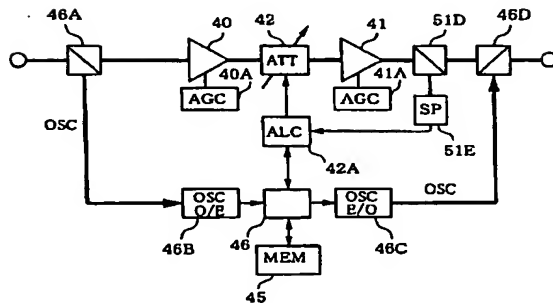


【図 16】

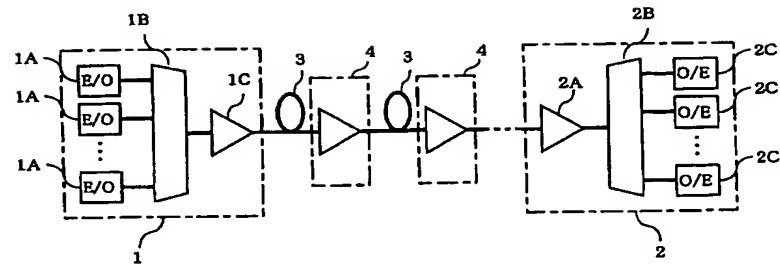
実施形態(1-3)  
逐次出力補正実施パターン



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H 0 4 B 10/17

10/16

識別記号

F I

テーマコード(参考)